GEOLOGISCH-TEKTONISCHE KARTIERUNG DER GRIQUALAND WEST UND OLIFANTSHOEK SEQUENZEN IN DER NÖRDLICHEN KAPPROVINZ, REPUBLIK SÜDAFRIKA, AUF DER GRUNDLAGE VON LANDSAT - MSS - DATEN UND TERRESTRISCH - PHOTOGRAMMETRISCHEN AUFNAHMEN

Hans Leisen

Disbui. München
1988

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555421_0043

GEOLOGISCH-TEKTONISCHE KARTIERUNG DER GRIQUALAND WEST UND OLIFANTSHOEK SEQUENZEN IN DER NÖRDLICHEN KAPPROVINZ, REPUBLIK SÜDAFRIKA, AUF DER GRUNDLAGE VON LANDSAT - MSS - DATEN UND TERRESTRISCH - PHOTOGRAMMETRISCHEN AUFNAHMEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DES DOKTORGRADES

DER

FAKULTÄT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

DER

LUDWIG-MAXIMILIAN-UNIVERSITÄT

MÜNCHEN

VORGELEGT

VON

HANS LEISEN

München 1987

1. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Bodechtel
2. Berichterstatter: Prof. Dr. D.D. Klemm

Tag der Abgabe: 15. Oktober 1987
Tag der mündlichen Prüfung: 09. Juni 1988

DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstr. 15, Tel. 288663

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. J. Bodechtel angeregt. Für seine Hilfe bei der Ausarbeitung möchte ich mich herzlich bedanken.

Herr Prof. Dr. D. D. Klemm betreute die Geländearbeit. Für sein Interesse, seine stete Diskussionsbereitschaft und seine Hilfe bei der Beantwortung von Fragen sei ihm ebenfalls herzlich gedankt.

Herr Dr. R. Haydn und Herr Dr. J. Henkel führten die Verarbeitung der Satellitendaten durch und standen ebenso wie Herr Dr. F. Jaskolla und Herr Dr. P. Volk für Diskussionen zur Verfügung. Herr Prof. Dr. R. E. Adler leistete wertvolle Hilfestellung bei der Interpretation der tektonischen Aufnahme. Die Vergrößerungen der Satellitenbild-Auswertevorlagen besorgte Herr L. Hauck.
Allen Herren sei vielmals für ihre Mühen gedankt.

Während meiner Geländearbeit in Südafrika erleichterte mir die Mine Beeshoek (AMMOSAL) durch ihre Gastfreundschaft den Auslandsaufenthalt. Ihrem Manager Mr. Duwenhagen gebührt ebenso Dank wie dem Minengeologen W. Grobbelaar, der immer zu Diskussionen bereit war.
Weiter möchte ich mich bei den Geologen Mr. A. van Westhuizen (Rand Mines), Mr. R. Arnot (SAMANCOR), Mr. J. Oosthuizen (ISCOR), Mr. J. Wiesner und Mr. G. Visser (GEFCO), Mr. S. van der Merwe (KCBA), Mr. F. Kalp und Mr. D. Delport (DCBA), Mr. J. Kleinjan (Anglo American Co, De Beers) und last not least Mr. J. Wotherspoon (Northern Lime Company) für die Einführung in die verschiedenen Lagerstätten bedanken.

Die finanzielle Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft ermöglichte mir die Untersuchungen im Gelände, die Beschaffung des Satellitenbildmaterials und die anschließende Ausarbeitung. Hierfür möchte ich mich herzlich bedanken.

Darüber hinaus bin ich allen Mitarbeitern und Kollegen des Institutes für Diskussionen, Interesse und Hilfe dankbar.

Nicht zuletzt schulde ich meiner Frau, meinen Eltern, meinen Kindern und meinen Freunden Dank.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hat eine geologisch-tektonische Kartierung der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen in der nördlichen Kapprovinz, Republik Südafrika, zum Ziel, wobei methodische Fragestellungen untergeordnet behandelt werden.

Als Arbeitsgrundlage dienten fernerkundliche und terrestrisch-photogrammetrische Daten aus Satellitenbildern (Landsat I & II), s/w-Luftbildern, photogrammetrischen Aufschlußaufnahmen und manueller Klufterfassung.

Die digitale Verarbeitung der Satellitendaten beschränkt sich auf konventionelle Bildverbesserungsverfahren wie Kontrastverstärkung, Filterung, Ratiobildung usw. Hierdurch können die Möglichkeiten des Einsatzes der Fernerkundung bei Erstkartierungen, z.B. in Entwicklungsländern, besser aufgezeigt werden.

Die photogeologische Kartierung basiert auf dem spektralen und multitemporalen Informationsgehalt der Landsatdaten. Die Beschreibung von morphologischen und strukturellen Einheiten, von bereichstypischen Vegetationsklassen, sowie von Gewässernetzmustern- und dichten läßt, in Verbindung mit Geländeuntersuchungen, eine Ansprache der verschiedenen stratigraphischen Einheiten zu. Diese Ergebnisse sind in einer geologischen Karte dargestellt.

Für die Eisen- und Manganlagerstätten des Arbeitsgebietes werden "Reflexionsspektren" aus Ratioverarbeitungen beschrieben, die eine eindeutige Trennung von Eisen und Mangan zulassen.

Anhand der tektonischen Kartierung in Satelliten- und Luftbildern werden drei Beanspruchungsrichtungen (Richtungssysteme) ausgegliedert. In Zusammenhang mit der Analyse der kleintektonischen Aufnahme lassen sich diese drei Richtungssysteme im Sinne unterschiedlicher genetischer Gefüge interpretieren.
Geologisch-tektonische Gelände- und Luftbilduntersuchungen in ausgewählten Spezialbereichen untermauern diese Ergebnisse.

Die Zuordnung der genetischen Gefügesysteme zu den stratigraphischen Einheiten, aus welchen die Meßdaten stammen, führt zur zeitlichen Festlegung der aktiven Phasen der verschiedenen Deformationssysteme.
Die Anordnung der Sedimentationsbecken während bestimmter Ablagerungszyklen werden ebenso beschrieben wie spätere tektonische Überprägungen.

Die dargestellten Untersuchungen ermöglichen einen Abriß der tektonischen Entwicklungsgeschichte der geologischen Formationen im Arbeitsgebiet.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung....1

1.1. Zielsetzung....1
1.2. Geographischer Überblick....1
1.3. Geologisch-tektonischer Überblick....2
1.3.1. Ältere Arbeiten....4
1.3.2. Geologischer Überblick....6
1.3.3. Tektonischer Überblick....9
1.3.4. Eisen- und Manganvererzungen im Arbeitsgebiet....12

2. Datenerhebung und Arbeitsmethodik....13

2.1. Geländeaufnahme....13
2.2. Auswertung der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen....15
2.3. Auswertung der Satellitenbilder....17
2.3.1. Satellitenbilddaten....17
2.3.2. Satellitenbildauswertung....19
2.3.3. Verarbeitung der Ergebnisse....20
2.4. Auswertung der Luftbilder in ausgewählten Bereichen....22
2.4.1. Allgemeines....22
2.4.2. Luftbilddaten....22

3. Ergebnisse der Satellitenbildauswertung....23

3.1. Geologisch-lithologische Kartierung....23
3.1.1. Oberflächendifferenzierung im s/w Spektralauszug und Falschfarbenbild (CIR Composit)....25
3.1.1.1. Farbe....25
3.1.1.2. Albedo....26
3.1.1.3. Geomorphologie - Textur - Muster - Struktur....26
3.1.1.4. Gewässernetz....28
3.1.1.5. Vegetation....29
a) Allgemeines....29
b) Saisonaler Einfluß....31
c) Beschreibung von Teilbereichen....31
3.1.2. Oberflächendifferenzierung mit Ratiobild und Color-Ratio-Composit (CRC)....34
3.1.3. Zusammenfassung der geologisch-lithologischen Kartierung und Vergleich mit existierenden geologischen Karten....38

4. Ergebnisse der Großstrukturkartierung und Lineamentinterpretation auf der Grundlage der Landsatdaten....40

4.1. Ausgliederung von drei Beanspruchungssystemen....40
4.2. Großstrukturkartierung....40
4.3. Gangsysteme....43
4.3.1. Problematik der Gangsysteme....44
4.4. Faltenstrukturen....45
4.5. Lineamentinterpretation....46
4.6. Zusammenfassung und Entwicklung verschiedener Deformationspläne....49
4.6.1. B1-System: N-S- bis 10°E-Kompression/E-W- bis 100°-Dehnung....52
4.6.2. B2-System: W-E-Kompression/N-S-Dehnung....53
4.6.3. B3-System: NW-SE-Kompression/NE-SW-Dehnung....54

5. Ergebnisse der Kluftdiagramminterpretation....55

5.1. Allgemeines....55
5.2. Trennflächenanalyse....56
5.3. Interpretation genetischer Gefüge und Korrelation mit Richtungsgefügen....59
5.3.1. B-ss-Gefüge....59
5.3.2. B-sh-Gefüge....60
5.3.3. B-F-Gefüge....61

6. Beschreibung der tektonischen Prägung ausgewählter Bereiche mit Geländeinformationen und Luftbildauswertungen....62

6.1. Maremane Dom....62
6.2. Eisenlagerstätte Sishen....71
6.3. Kalahari-Mangan-Feld....74
6.4. Asbestos Hills Banded Ironstone Formation (BIF) und Ghaap Plateau Dolomit Formation....80
6.5. Rooinekke Lagerstättenbereich....86
6.6. Bereich Koegas-Prieska....89
6.7. Olifantshoek Sequenz....93
6.8. Zusammenfassung....97

7. Abriß der tektonischen Geschichte der Nordkap-Provinz....99

7.1. Campbell Zeit....99
7.2. Asbestos Hills, Koegas, Gamagara und Makganyene Zeit....99

7.3. Cox Zeit.....100
7.4. Olifantshoek Zeit.....101
7.5. Post Matsap Zeit.....101
7.6. Jüngere tektonische Ereignisse.....101

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....103
Verzeichnis der verwendeten Karten.....105
Literaturverzeichnis.....106

Anhang I: Landsatdaten
II: Kartenteil
III: Kleintektonische Diagramme
IV: Grundlagen

1. Einleitung

Ihre reichen Bodenschätze machten die Nordkapprovinz seit Ende letzten Jahrhunderts zum Gegenstand vieler geologischer Untersuchungen. Von besonderem wirtschaftlichem Interesse sind hier die Eisen- und Manganvererzungen sowie die Vorkommen von Diamanten und Asbest. So ist es umso erstaunlicher, daß bislang nur für Teile dieses Gebietes neue amtliche geologische Karten publiziert sind.
Zwar existieren Veröffentlichungen, die sich mit dem sedimentologischen Aufbau der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen und der Genese der hier auftretenden Lagerstätten befassen und versuchen, die Beckenentwicklungen während der Transvaal und Waterberg Zeit zu erklären (BEUKES 1978 & 1983, BOARDMAN 1940,1941 & 1964, BUTTON 1976, J.DE VILLIERS 1960, P.R.DE VILLIERS 1967 & 1970, DU TOIT 1933, KAISER 1931, NEL 1929, RICHTER 1933, ROGERS 1906, STRAUSS 1954).
Bei allen geologischen Untersuchungen aber blieben tektonische Fragestellungen von untergeordneter Bedeutung. Es gibt weder übergreifende Arbeiten, welche ein Gesamtbild der Kluft- und Faltengefüge der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen beschreiben, noch existieren daraus zu folgernde Beanspruchungspläne für das Arbeitsgebiet. Ebenso fehlt ein tektonisches Modell für diese Region.
Die hieraus resultierenden Probleme machen sich vor allem in den verschiedenen Lagerstättenbezirken bemerkbar.

1.1. Zielsetzung

Aus obigen Überlegungen ergibt sich die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit:
1. Geologische Kartierung der gesamten Griqualand West Sequenz und angrenzender Gebiete mit Fernerkundungsmethoden (Satellitenbild unterstützt durch Luftbildauswertung).
2. Klärung des tektonischen Aufbaus der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen (Großstruktur- und Lineamentkartierung im Satellitenbild; kleintektonische Gefügeanalysen von Kluftdiagrammen aus terrestrisch-photogrammetrischer Aufnahme).
3. Beschreibung eines tektonischen Beanspruchungsmodells der Griqualand West Sequenz durch die Korrelation der auf verschiedenen Ebenen gewonnenen Ergebnisse.

1.2. Geographischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Nördlichen Kapprovinz am Südende des Kalaharibeckens ungefähr 600 km südwestlich Johannesburg (Abb. 1.1) und bedeckt eine Fläche von ca. 45000 km^2.
Es gehört dem semiariden bis ariden Klimabereich an. Spärliche Vegetation, hauptsächlich Dornbüsche bzw. -bäume wie Kameldoorn (Acacia giraffae) und Soetdoorn (Acacia karoo) sowie der dornlose Vaalbos (Tharchonatus camphoratus) und für den südlichen Bereich typische Köcherbäume (Aloe dichotoma) mit Höhen von 0.5-6 m und

Steppengras verschiedener Arten, lassen lediglich eine extensive Landnutzung zu (Rinder- und Schafzucht). Die durchschnittliche Niederschlagsmenge liegt bei 300 bis 350 mm/Jahr. Die Siedlungsdichte ist mit <2.5 Einwohnern/km^2 äußerst gering.

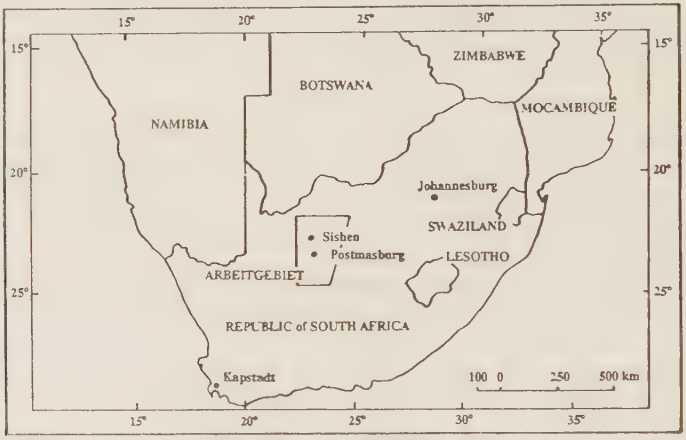


Abb. 1.1: Lage des Arbeitsgebietes.

Großräumige geomorphologische Einheiten bestimmen die Landschaft: Im Osten liegt das ungefähr 17000 km^2 große Ghaapplateau, westlich davon die Asbestos und Kuruman Hills mit einer Nord-Süd-Erstreckung von etwa 350 km und topographischen Höhen von 1855 m über NN. Das zentrale Gebiet ist durch Hügel geringerer Höhe mit zum Teil typischen Strukturen (Blinkklip Hills auf dem Maremane Dom) bzw. im Norden durch weite ebene Sandflächen und Dünen der Kalahariwüste geprägt.
Im Westen begrenzt ein Gebirgszug mit ungefähr 300 km Nord-Süd-Erstreckung und Höhen von 1600 bis 1700 m das Arbeitsgebiet (Langeberge, Korannaberge)(Abb. 1.3).
In Abbildung 1.2 sind Klima- und Vegetationsbereiche, großräumige Verteilung der Böden, geomorphologische und geologische Großeinheiten und die Bevölkerungsdichte vereinfacht nach Karten der FAO-UNESCO (1977) für das Arbeitsgebiet dargestellt.
Aus diesen Karten geht hervor, daß im Satellitenbild nur großräumige Variationen der geologisch-stratigraphischen und morphologischen Einheiten, der Böden und der Vegetation zu erwarten sind.

1.3. Geologisch-tektonischer Überblick

Nachfolgend soll ein Abriß der bereits existierenden geologischen Untersuchungen im Arbeitsgebiet gegeben und die in der Literatur

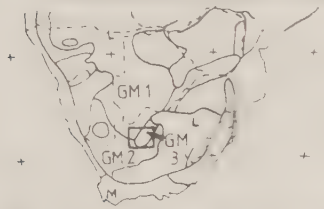
KLIMAREGION

C1: Low tierra fria
C2: Heiße subtropische Wüste
C3: Tropische Hochlandwüste

VEGETATIONSZONE

V1: Dornbuschsavanne
V2: Tropische & subtropische Wüste
V3: V1 & V2

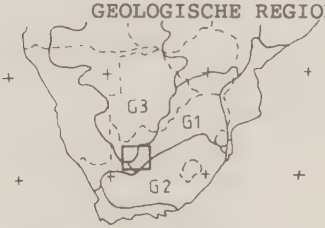
GEOMORPHOLOGISCHE EINHEITEN



GM1: Inneres Plateau - Kalahari Plateau
GM2: Middle Veld
GM3: Ghaap Plateau

L: Southern African Plateaus
M: Marginal zone

GEOLOGISCHE REGIONEN



G1: Transvaal Plateau Basin & Ghaap Plateau (Präkambrium)
G2: Karoo Basin (Perm - Trias)
G3: Kalahari Basin (Tertiär - rezent)

LITHOLOGISCHE EINHEITEN

L1: Unverfestigte tertiäre und pleistozäne äolische und fluviatile Sedimente
L2: Verfestigte karbonatische Sedimente
L3: Verfestigte klastische Sedimente
L4: Unverfestigte rezente äolische Sedimente

BODENREGIONEN

B1: Arenosols, Xerosols, Vertisols & Solonchaks

BEVÖLKERUNGSVERTEILUNG

1 Einwohner/km²
2-10 -"-
11-50 -"-
50-100 Einwohner/km²
> 100 -"-

Abb. 1.2:
Zusammenstellung der Klimaregionen und Vegetationszonen, der geomorphologischen, geologischen und lithologischen Einheiten, der Bodenregionen und der Bevölkerungsverteilung nach Karten der FAO-UNESCO (1977).
□ = Arbeitsgebiet

bestehenden Vorstellungen über die geologische und tektonische Entwicklung dargestellt werden.

1.3.1. Ältere Arbeiten

Bereits 1874 beschrieb STOW erstmals eine geologische Abfolge aus dem Nördlichen Kap. ROGERS erstellte 1906 die erste systematische Stratigraphie für das Gebiet zwischen Vaal River und Kalahari. Zusammen mit DU TOIT (ROGERS 1907 & 1908; ROGERS & DU TOIT 1908, 1909 & 1910) kartierte er weite Bereiche der Nordkapprovinz.
Nach der Entdeckung der Manganlagerstätten im Postmasburggebiet durch Capt. T.H.L. SHONE 1911 erwachte das eigentliche Interesse für dieses Gebiet. HALL (1916) und WAGNER (1918) befaßten sich mit den Mangan- bzw. Eisenvorkommen nördlich Postmasburg. Eine detaillierte Beschreibung der Geologie und der Manganerzvorkommen dieser Gegend findet sich auch bei NEL (1929).
Inzwischen war die Diskussion um die Stellung der Gamagara Serien am Westrand des Maremane Doms und die Herkunft bzw. zeitliche Einordnung der Breccien in den Kliptown Hills mit den Mangan- und Eisenvererzungen sowie deren Entstehung entbrannt, die bis heute anhält (Abb. 1.3, Tab. 1.1 & 1.2). Auch KAISER (1931) und SCHWELLNUS (1933) nahmen in ihren Untersuchungen hierzu Stellung. Sie gingen im Gegensatz zu den südafrikanischen Geologen von einer primär sedimentären Bildung der Manganerzlager aus. Die Arbeit SCHWELLNUS ist auf Grund ihrer exakten Beobachtungen noch heute eine gute Grundlage für Untersuchungen im Maremanegebiet.
Weitere Veröffentlichungen über Mangan- und Eisenlagerstätten zwischen Postmasburg und Sishen folgten (DU TOIT 1933, STRAUSS 1954). BOARDMAN (1941 & 1944) und J.DE VILLIERS (1960) weiteten nach der Entdeckung der Manganlagerstätten in der Kalahari westlich Kuruman ihre Untersuchungen auf diesen Bereich aus.
VISSER (1944) gibt einen Einblick in die Geologie und Tektonik des von TRUTER et al. (1938) auf der Basis von Luftbildern kartierten Bereiches zwischen den Asbestos Hills und den Langebergen.
Eine Reihe von Arbeiten befaßte sich in den sechziger Jahren mit der Banded Iron Formation (BIF) und den Asbestvorkommen in den Transvaal und Asbestos Hills sowie den Doringbergen (ENGELBRECHT 1960, POCKLMA 1967, HANEKOM 1966, WELCH 1969).

1967 bzw. 1970 erfolgte durch P.R. DE VILLIERS eine Korrektur der stratigraphischen Einordnung der Gamagara Serie, die BEUKES (1978) in seiner Detailkartierung der Campbell und Griquatown Gruppe größtenteils übernahm und weiter differenzierte. Sie fand auch Eingang in die Empfehlungen zur Stratigraphie des Südafrikanischen Komitees für Stratigraphie (SACS 1980) zur Gliederung der Griqualand West und Olifantshoek Sequenz.
Verschiedene Untersuchungen BOTHAs et al. (1977) und VAINERs (1974a, 1974b, 1976) brachten neue Erkenntnisse über die Geologie und die tektonischen Abläufe im Südwesten des Arbeitsgebietes (Doringberg Lineamentzone).

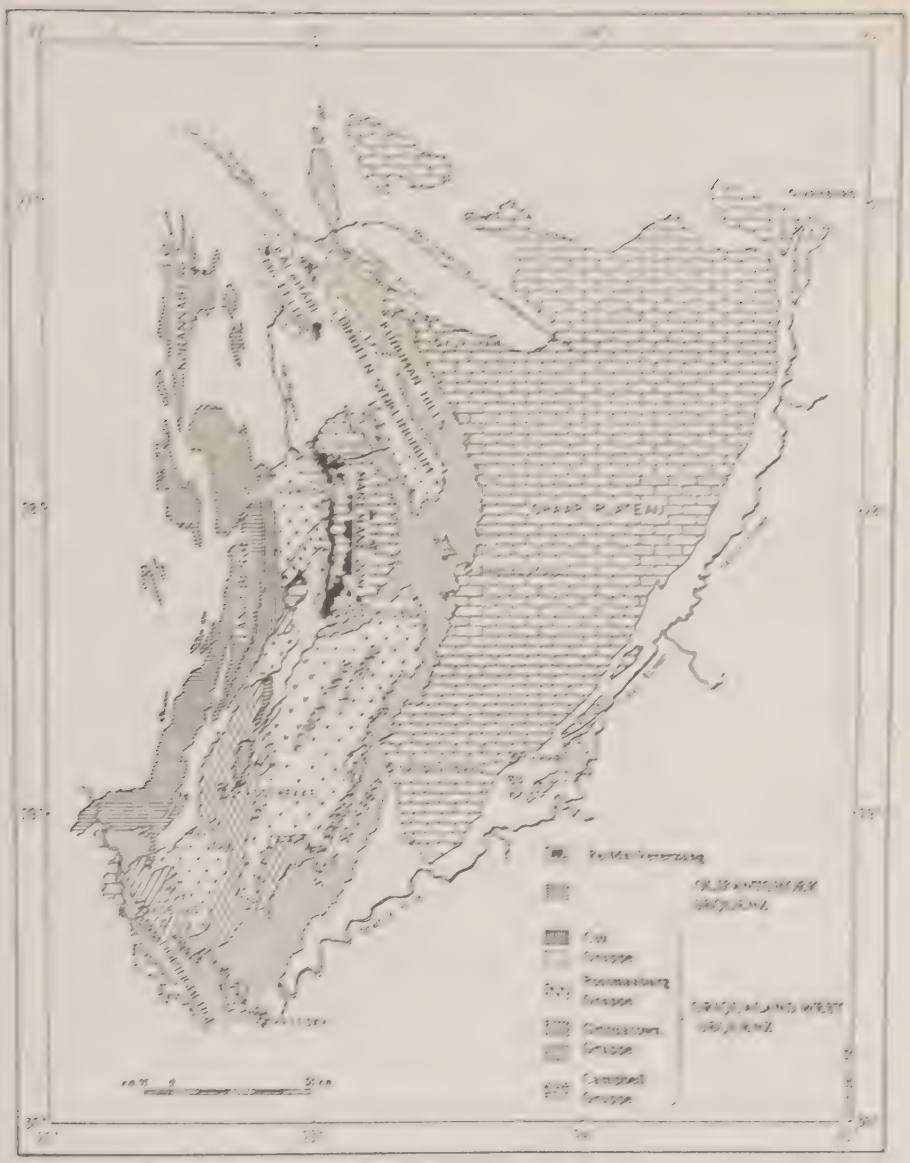


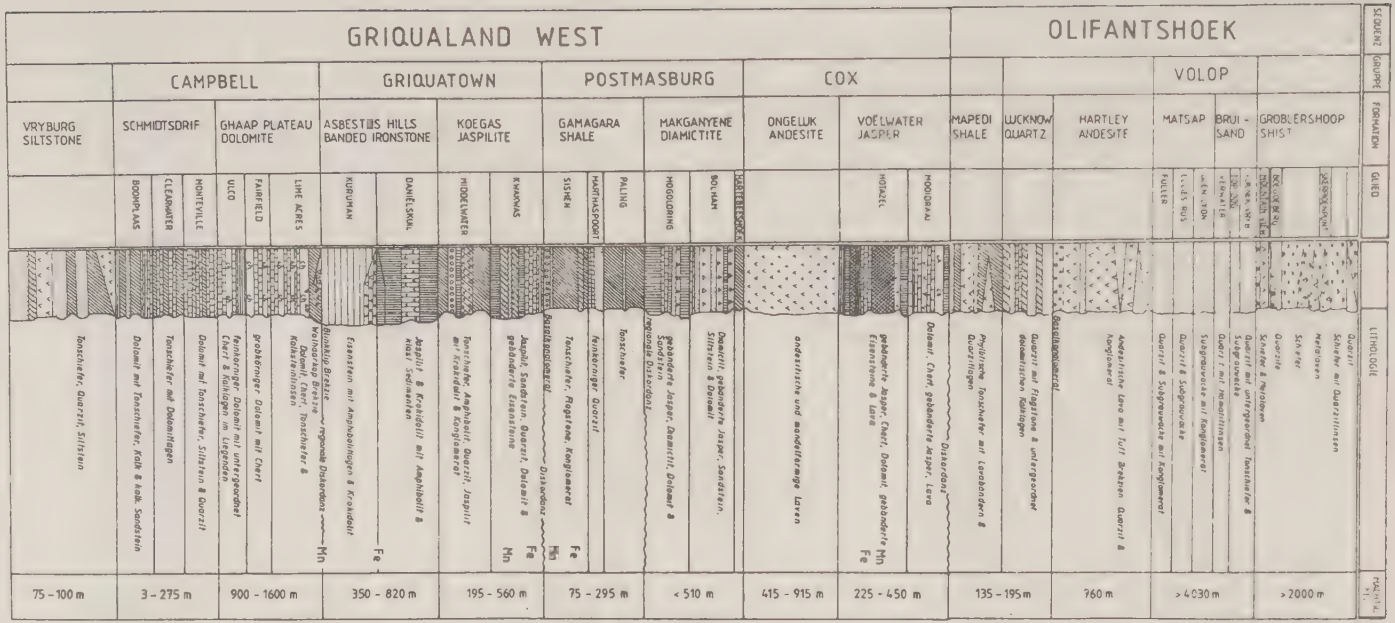
Abb. 1.3: Geologische Übersichtskarte der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen, erstellt aus den im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Satellitenbildauswertungen. Die geomorphologischen Großbereiche sind zum besseren Verständnis ebenfalls eingetragen.

PRETORIUS' (1979) Deutung der Schwereanomalien zwischen Kuruman und Prieska führte zur Beschreibung verschiedener Falten- und Störungszonen in der Griqualand West und der Olifantshoek Sequenz.
BEUKES (1983, 1986) schließlich gibt einen Überblick über die Ablagerungsbedingungen der Eisenformationen im Transvaalbecken bzw. der Transvaal Sequenz in Griqualand West.
1977 und 1979 erschienen die amtlichen geologischen Karten des Geological Survey of South Africa, Blatt 2822 Postmasburg und Blatt 2722 Kuruman, zusammengestellt und erläutert durch MOEN.

1.3.2. Geologischer Überblick

Bei der bis zu 12 km mächtigen (TRUSWELL 1977) vulkano-sedimentären Griqualand West Sequenz (früher: Transvaal Supergroup) handelt es sich um proterozoische Ablagerungen in einem Flachmeer. Das Sedimentationsbecken hat epirogenen Charakter mit orogenen Zügen in den Randbereichen (Namaqua-Natal-Mobile-Belt, Kheis-Belt)(VAJNER 1976). Im Westen werden sie von der bis zu 7 km mächtigen Olifantshoek Sequenz (früher: Waterberg Supergroup) überlagert. Beide Sequenzen sind teilweise von Karoogesteinen (300-160 my; TRUSHWELL 1977) sowie von tertiären und quartären Kalaharisedimenten und Kalkkrusten bedeckt. An Bruchstrukturen drangen häufig basische Gänge (meist Karooalter?) auf.

Die Altersdatierungen der Griqualand West Sequenz sind durch ältere und jüngere vulkanische Ereignisse gegeben. Für die liegenden Ventersdorp Laven werden Alter zwischen 2700-2500 my (U-Pb) und 2300 my (Rb-Sr) angegeben (alle Altersdatierungen zit. in BEUKES 1983), für die hangende Hartley Andesit Formation (Olifantshoek Sequenz) solche von 2070±90 my (Rb-Sr). Die Hekpoort Basalte des Transvaals, die mit den Ongeluk Andesiten der Nordkapprovinz korreliert werden, sind mit 2200±24 my datiert.
Somit muß für die Griqualand West Sequenz ein Bildungszeitraum von ungefähr 2300 my bis 2100 my (BEUKES 1983) angenommen werden. Für die jüngere Olifantshoek Sequenz wird ein Alter von 2100 my bis ca. 1900 my (VISSER 1984) angegeben.
Bei der stratigraphischen Untergliederung der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen wurden die Empfehlungen des South African Commitee of Stratigraphy (SACS 1980) zugrunde gelegt (Tab. 1.1).
Das Arbeitsgebiet zeigt eine deutliche Ost-West-Gliederung, welche weitgehend der stratigraphischen und strukturellen Unterteilung entspricht und die sich auch deutlich in der Morphologie ausdrückt (Abb. 1.3).
Auf der Vryburg Formation (Tonschiefer, Quarzite) liegen die Dolomite, Kalke, Quarzite und Tonschiefer der Schmidtsdrif und Ghaap Plateau Formation (Campbell Gruppe). Diese werden von den Gesteinen der Asbestos Hills Banded Ironstone und Koegas Jaspilite Formationen (Eisen-Chert-Tonschiefer Wechsellagerungen) der Griquatown Gruppe überlagert. Darauf folgen im Bereich des Maremane Doms diskordant Tonschiefer, Sandsteine, Quarzite, Jasper und Konglomerate der Gamagara und Makganyene Formationen (Postmasburg Gruppe).



Tab. 1.1: Stratigraphische Einteilung der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen nach der Empfehlung des South African Commitee of Stratigraphy (SACS 1980).

Weite Bereiche sind von Andesiten der Ongeluk Formation bedeckt, während die Banded Ironstones und Jasper der Voelwater Formation (beide werden in die Cox Gruppe gestellt) in einem Streifen westlich Postmasburg nur mit geringer Mächtigkeit auftreten, jedoch im Norden unter Kalahari-Sandbedeckung und Dwyka Tilliten (Karoo) relativ große Mächtigkeiten erreichen.
Die Ablagerungen der Griqualand West Sequenz werden im Westen durch Tonschiefer, Quarzite, Sandsteine, Grauwacken, Konglomerate und Laven der Olifantshoek Sequenz überlagert.
Hierzu sei jedoch angemerkt, daß die stratigraphische Gliederung vieler Bearbeiter (u.a. BEUKES 1983 & 1986, BOARDMAN 1940 & 1964, J. DE VILLIERS 1960, NEL 1929, VISSER 1944) erheblich von der modernen Stratigraphie abweicht (Tab. 1.2), was für die Interpretation der tektonischen Abläufe von großer Bedeutung ist. Neben dem Auftreten bestimmter tektonischer Phänomene stellt ja die zeitliche Einordnung der betroffenen Schichtglieder eine wesentliche Grundlage zur Klärung der tektonischen Entwicklung eines Gebietes dar.

VISSER (1944)

SYSTEM	SERIES	STAGE	ZONE
post Waterb.	Kataklastische Gesteine (WHK/BK Brekzie)		
WATER-BERG	MATSAP	Upper Matsap	Quartzite Shale Conglomerate
		Hartley Hill	Lava Quartzite
		Lower Matsap	Quartzite Shale
LOSKOP	GAMAGARA	Basiskonglomerat	
TRANSVAAL	PRETORIA	Upper Griquatown	Jasp., Chert
		Middle Griquatown	Andesitic Lava
		Lower Griquatown	Tillite
			Banded Jasper
			BIS
	DOLOMITE		Dolomitic Limestone, Chert

SACS (1980)

FORMATION	GROUP	SEQUENCE
Groblershoop Shist		OLIFANTSHOEK
Brulsand Quartzite	VOLOP	
Matsap		
Hartley Andesite		
Lucknow Quartzite		
Mapedi Shale		
Voelwater Jasper	COX	GRIQUALAND WEST
Ongeluk Andesite		
Makganyene Diamictite	POSTMASBURG	
Gamagara Liegendes: Basiskonglomerat		
Koegas Jaspilite	GRIQUATOWN	
Asbestos Hills BIS		
Liegendes: Blinkklip Brekzie		
Hangendes: Wolhaarkop Brekzie	CAMPBELL	
Gaap Plateau Dolomite		
Schmidtsdrif		
	VRYBURG	

Tabelle 1.2:
Vergleich der stratigraphischen Gliederung der Griqualand West (Transvaal System) und Olifantshoek (Waterberg System) Sequenzen nach VISSER (1944) und SACS (1980). BEUKES (1983 &1986) korreliert die Gamagara Shale Formation mit der Mapedi Shale Formation der Olifantshoek Sequenz.

Hierzu ein Beispiel: VISSER (1944) stuft die Wolhaarkop und Blinkklip Brekzien als post Matsap ein (Tab. 1.2) und erklärt sie dann ihrer geologischen Position über Campbell Dolomit wegen folgerichtig als (tektonische) Überschiebungsbrekzie.
Dagegen läßt die neuere Stratigraphie (SACS 1980) die wesentlich plausiblere Deutung als Residual- und Einbruchsbrekzie in Verbindung mit der Verkarstung des Gebietes zu (BEUKES 1978, DU TOIT 1933).
In Abhängigkeit von ihrer Funktion und ihrer stratigraphischen Stellung muß die Erklärung der tektonischen Abläufe unterschiedlich ausfallen.

Die Gesteinsserien streichen ungefähr Nord-Süd, liegen im Osten flach und sind im Westen (Olifantshoek Sequenz) intensiv verfaltet. Der Mittelbereich ist durch weiten Sattel-Muldenbau gekennzeichnet.

1.3.3. Tektonischer Überblick

Der tektonische Aufbau der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen wurde bei der geologischen Erkundung wie bereits angedeutet weitgehend unberücksichtigt gelassen. Zwar finden sich häufiger Beschreibungen einzelner tektonischer Strukturen (BEUKES 1978, BOARDMAN 1964, J. DE VILLIERS (1960), P.R. DE VILLIERS 1970, DU TOIT 1933, PRETORIUS 1979, RICHTER 1933, VAJNER 1974a, VISSER 1944 u.a.), jedoch eine Deutung der Ursachen und ein differenziertes Konzept der verschiedenen tektonischen Beanspruchungen während nahezu 2300 my fehlt. Dies führt naturgemäß zu Fehlinterpretationen der tektonischen Erscheinungsformen.
Am ausführlichsten setzt sich VISSER (1944) mit der Tektonik in einem Teil des Arbeitsgebietes auseinander. Er gliedert den Bereich zwischen Ghaapplateau im Osten und Kalahari im Westen in drei Strukturgürtel:

- Im östlichen Gürtel liegen die Banded Ironstones und Jasper der Griquatown und Postmasburg Gruppe sowie die Laven der Cox Gruppe in weitgespannten Mulden und sind von Längs- und Diagonalstörungen durchzogen.
- Der zentrale Gürtel umfaßt die stratigraphischen Einheiten der Postmasburg und Cox Gruppe und der Lucknow und Hartley Formationen. Intensive Überschiebungstektonik und Verschuppung wird hier angenommen.
- Der Westgürtel schließlich wird von den isoklinal verfalteten und nach Osten überkippten Serien der Matsap und Brulsand Formationen aufgebaut (Lange- und Korannaberge).

Durch West-Ost-Einengung in post Matsap und prä Karoo Zeit werden nach VISSER (1944) die Gesteine der Olifantshoek Sequenz im Westgürtel isoklinal verfaltet und überkippt. Im zentralen Bereich führt diese Beanspruchung zu Scherung, Verschuppung und großräumigen Überschiebungen. Letztere finden sich auch bei NEL (1929) und werden von J. DE VILLIERS (1960) bestätigt.

VISSER (1944) nimmt mindestens fünf weitreichende Überschiebungsbahnen an:

1. Maremane-Überschiebung: Die Überschiebung liegt im Osten des Maremane Doms über dem Ghaap Plateau Dolomit und im Westen zwischen Dolomit und Gamagara Serien.
   Wolhaarkop- und Blinkklipbrekzien bzw. das Basalkonglomerat der Gamagara Formation (HALL 1926) sind Folge der Überschiebung.
2. Gamagara-Überschiebung: Am Westrand des Maremane Doms wird Ghaap Plateau Dolomit über Gamagara Sedimente geschoben.
3. Vlakfontein-Überschiebung: Wegen des Auftretens kataklastischer Gesteine (Wolhaarkop- und Blinkklipbrekzie) wird von VISSER wie auf dem Maremane Dom eine Überschiebung der Gamagara Serien auf den Ghaap Plateau Dolomit westlich des Gamagara Randes angenommen.
4. Aucampsrust-Überschiebung: Banded Jasper der unteren Griquatown Gruppe (nach SACS, 1980 als Makganyene eingestuft) werden im Bereich Aucampsrust über die Gamagara Formation geschoben.
5. Matsap-Hill-Überschiebung: Untere Griquatown Serie (nach MOEN 1977 als Koegas Jaspilite Formation eingestuft) liegen der Gamagara Formation auf (nach MOEN 1977: Lucknow Formation).

Die Anwendung der neueren Stratigraphie macht Überschiebungsbahnen des beschriebenen Ausmaßes zur Klärung des geologischen Aufbaus der Griqualand West Sequenz überflüssig. Sie wurden auch bereits in früheren Arbeiten (RICHTER 1933) angezweifelt.
In den neueren Veröffentlichungen BEUKES' (1983 & 1986) wird von einer Einstufung der Gamagara Shale Formation als Äquivalent der Mapedi Shale Formation der Olifantshoek Sequenz ausgegangen. Hierdurch wird wieder eine komplizierte Überschiebungstektonik notwendig, deren Mechanismen in den zitierten Arbeiten nur ungenügend geklärt sind. Da die Gründe für diese neue stratigraphische Einteilung nicht zwingend sind, wird weiter der stratigraphischen Gliederung nach SACS (1980) gefolgt.
Wie in Kapitel 6 auf Grund eigener Geländeuntersuchungen gezeigt wird, kam es tatsächlich zu Überschiebungs- und Schuppentektonik. Diese Überschiebungen weichen aber in ihrer Ausdehnung und ihrer stratigraphischen Position und räumlichen Lage von denen BEUKES' (1983 & 1986) und VISSERs (1944) ab.

Bei VAJNER (1974a) findet sich eine wesentlich differenziertere Analyse von Strukturelementen aus dem Bereich Koegas. Er gibt im Zeitraum von prä Transvaal bis post Karoo mehrere Deformationsphasen an, welche auch in jüngerer Zeit zur Reaktivierung früh angelegter Störungen führten. Zwar sind seiner Meinung nach die Hauptdeformationen (post Matsap: F3- & F4-Faltung) West-Ost-gerichtet, doch sieht er auch Anzeichen für anders geartete Verformung. NE-SW-streichende disharmonische Faltenstrukturen in der Griqualand West Sequenz ordnet er einer prä-Matsap-Schwerefaltung zu.
Der durchweg dextrale Bewegungssinn an den Störungen des Doringberglineaments mit einem minimalen Versatz von 120 km (COWARD & POTGIETER 1982) und E-W-streichende Faltenachsen veranlassen ihn

zur Annahme einer 'primären N-S-wirkenden Beanspruchung" mit prä Witwatersrand Alter für die Doringberg-Lineamentzone. Die Schichtflächendiagramme (VAJNER 1974a) zeigen zwei senkrecht aufeinander stehende B-Achsen (E-W und N-S).
Die auch rezent wirksamen großen Blattverschiebungen werden in post Karoozeit reaktiviert und stellen Großabschiebungen dar (VAJNER 1976).
Viele der sonstigen Informationen in der Literatur sind rein beschreibender Natur, die einer revidierten Deutung und einer zeitlichen Einordnung in verschiedene tektonische Phasen bedürfen.
RICHTER (1933) kartierte im Bereich des Maremane Doms schmale, N-S-gerichtete Mulden mit den Eisen- und Manganvererzungen, die der Antiklinalen aufgesetzt sind. E-W- und NW-SE-streichende Quer- und Diagonalstörungen zeigen alle dextralen Versatz.
Eine weite offene Faltung, die durch die post-Matsap-Deformation stark maskiert und überprägt ist, beschreibt J. DE VILLIERS (1960) aus den Ablagerungen der Griqualand West Sequenz. Ein E-W-verlaufender Sattel trennt Dimoten- und Ongeluk-Witwater-Synklinorium.
FOCKEMA (1967) erklärt zwei senkrecht aufeinander stehende Faltenachsen aus dem Bereich Kuruman im Sinne einer $B^{\perp}B$ Tektonik, verursacht durch Druckauflösung , bzw. durch Zug nach der Entspannung der post-Matsap-Einengung.
Die Schichtflächendiagramme WELCHs (1969) zeigen aus dem Bereich der Asbestos Hills nördlich Danielskuil rotierende B-Achsen, was einerseits auf die flache Lagerung, wahrscheinlicher aber auf die unzureichende Meßmethode (Handkompaß-Messungen) in einem hochmagnetisierten Gebiet zurückzuführen sein dürfte. Jedoch ist seiner Meinung nach eine von der post-Matsap-Deformation unabhängige Einengung für eine im Bereich Danielskuil vermutete E-W streichende Falte (Sattel J. DE VILLIERS' 1960) möglich.
Aus dem Kalahari-Mangan-Feld beschreibt P.R. DE VILLIERS (1970) eine Reihe N-S-streichender Verwerfungen, die im Profil eine Horst-Graben-Tektonik erkennen lassen. Eine Überschiebung in Black Rock, der post-Matsap-Deformation zugerechnet, ist Ursache für das Zutagetreten der Banded Ironstones (BIS) der Voelwater Formation.
Nach BOARDMAN (1964) wurde die Region einer intensiven West-Ost-Kompression unterworfen, die Faltung, Überfaltung, Überschiebung und N-S-streichende antithetische Verwerfungen (reverse faults) mit Sprunghöhen zwischen 30 und 300 m zur Folge hatten.
Das Griquatown-Lineament, eines der wichtigsten Strukturelemente der Nördlichen Kapprovinz, ist als aktive Abschiebung (active growth fault) während der Sedimentation der Koegas Formation für deren Verbreitung südlich des Lineaments verantwortlich (BEUKES 1978).
Schließlich beeinflußten die NW-SE-streichenden Großlineamente die Entwicklung auf dem Kaapvaal Kraton (PRETORIUS 1979); sie fungierten teils als rechtshändige Blattverschiebungen (vor allem in der Doringberg-Lineamentzone), teils als Abschiebungen. Im Bereich der Brakbos Störung vermutet PRETORIUS den Kratonrand.

1.3.4. Eisen- und Manganvererzungen im Arbeitsgebiet

An Bodenschätzen sind neben Asbest und Diamanten vor allem die Eisen- und Manganvorkommen interessant.
Ein Teil der auftretenden Eisen- und Manganerze liegt in präkambrischen Karststrukturen (Sinkholes) auf dem Maremane Dom, einer Aufwölbung im Zentrum des Arbeitsgebietes (Abb. 1.3 & 1.4). Sie werden in einen Ost- und einen Westgürtel sowie einen gemischten Typ untergliedert.

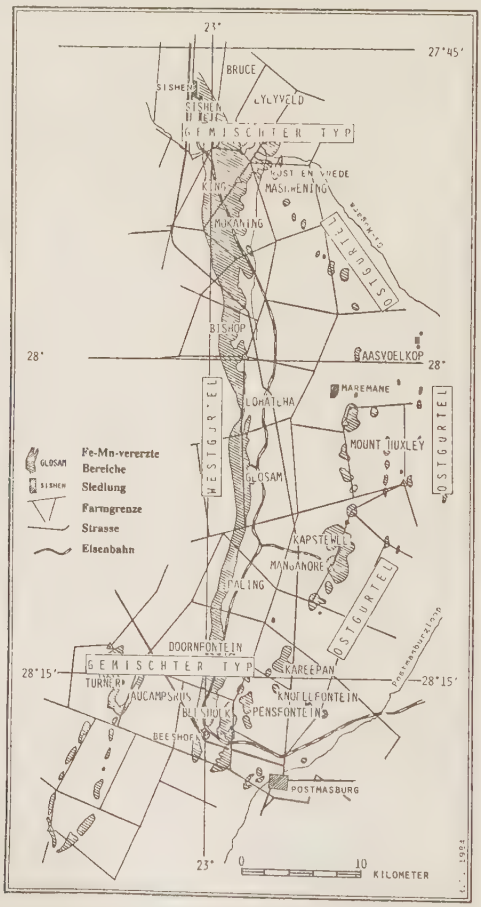


Abb. 1.4: Maremane Dom mit den Eisen- und Manganlagerstätten (nach J. DE VILLIERS 1960, überarbeitet und verändert anhand eigener Luft- und Satellitenbildauswertungen).

Die Bildung der Manganvererzungen des Ostgürtels fand prä Asbestos Hills bzw. früh Asbestos Hills statt (PLEHWE-LEISEN 1986), die Eisenvererzungen werden nach neueren Untersuchungen mit der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation korreliert (BEUKES 1983, MÜLLER 1983). Die Manganvererzungen des Westgürtels gehören der Gamagara Formation an (BEUKES 1978, BOARDMAN 1964, P.R. DE VILLIERS 1970). Der gemischte Typ tritt im Norden (Sishen) und Süden (Beeshoek, Aucampsrust) des Postmasburggebietes auf.
Ein weiteres Eisen-Mangan-Vorkommen liegt etwa 70 km südlich Postmasburg bei Rooinekke (VISSER 1954) und wird mit der Koegas Formation korreliert (BEUKES 1978)(Abb. 1.3).
Der dritte und neben der Eisenlagerstätte Sishen wirtschaftlich interessanteste Lagerstättenbereich liegt im Norden des Arbeitsgebietes im sogenannten Kalahari-Mangan-Feld (Abb. 1.3). Mächtige Manganerzlagen sind den Banded Ironstones der Voelwater Formation zwischengeschaltet.

2. Datenerhebung und Arbeitsmethodik

Die Auswahl der Arbeitsmethoden wurde durch die Größe des Arbeitsgebietes und das Ziel einer Rekonstruktion und zeitlichen Zuordnung verschiedener Beanspruchungspläne bestimmt.
Auf der Grundlage von Satellitenbildauswertungen und kleintektonischen Aufnahmen, die sowohl mit Hilfe der terrestrischen Photogrammetrie als auch anhand von Handkompaßmessungen durchgeführt wurden, erfolgten die Untersuchungen des geologisch-tektonischen Aufbaus der Griqualand West Sequenz. Die Ergebnisse wurden weiter durch Luftbildauswertungen und Geländestudien unterstützt (Abb. 2.1).

2.1. Geländeaufnahme

Zu den Aufgaben während des Geländeaufenthaltes gehörte die Überprüfung der vorläufigen Satellitenbildauswertung (ground truth) mit Ansprache und Beschreibung von photogeologischen Einheiten, eine überblickartige geologische Kartierung in unklaren Bereichen der photogeologischen Kartierung und die Aufnahme von tektonischen Strukturen zur Deutung der Großstrukturkarte.
Hierzu wurden umfangreiche Befahrungen des Geländes durchgeführt und an Typlokalitäten auch mit Einsatz von Luftbildern das Erscheinungsbild der stratigraphischen Einheiten untersucht. Augenmerk lag dabei vor allem auf der Bedeckung des Anstehenden durch Böden, Krusten und Vegetation, welche im Satellitenbild Mischsignaturen (Maskierung) verursachen können. Vor Ort konnte so ein genauer photogeologischer Schlüssel erarbeitet werden.
Daneben wurden Bereiche, die sich für kleintektonische Kartierungen eigneten, ausgewählt und geologisch beschrieben.

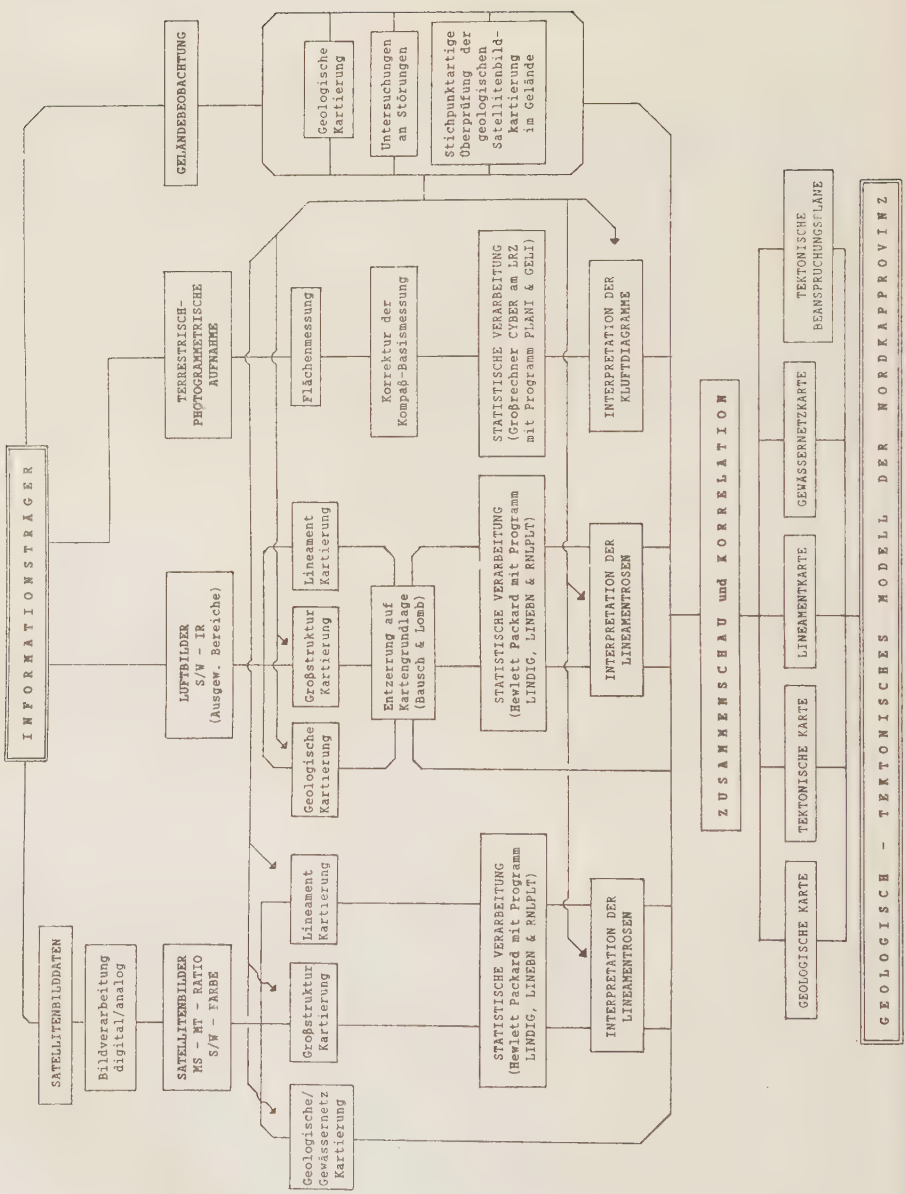


Abb. 2.1: Flußdiagramm zur Erläuterung der Datenerhebung und Auswertemethodik.

Die Anordnung der Meßpunkte für die photogrammetrischen Aufnahmen sollte, in einem möglichst engen Raster über das Arbeitsgebiet verteilt, vor allem die lagerstättenrelevanten Gesteinsserien berücksichtigen. Die Aufschlußverhältnisse (starke Rundung des Gebirgskörpers, geringe Anzahl an Steinbrüchen und Straßenaufschlüssen, Tagebaue mit ausschließlich schichtparallel abgebauten Erzkörpern) erlaubte kein lückenloses Netz, sodaß mit Schwerpunktprofilen die verschiedenen stratigraphischen Einheiten erfaßt wurden.
Die Lage und Verteilung der Meßpunkte ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Daraus geht klar die Präferenz der Lagerstättenbereiche hervor, welche naturgemäß die besten Aufschlüsse boten.
Insgesamt konnten 63 Meßbereiche durch Stereo-Photographien, die mit der Terrestrischen Meßkammer 6 (TMK 6) der Fa. ZEISS, Oberkochen, durchgeführt wurden, erfaßt werden. Außerdem wurden 30 Aufnahmeserien mit dem Kompaß durchgeführt und in einer Vielzahl weiterer Aufschlüsse, die sich für statistische Untersuchungsmethoden nicht eigneten, wurden Informationen über die tektonische Beanspruchung des Gebiets gesammelt.
Weiterhin wurde besonders auf Indikatoren geachtet, die den Charakter der Beanspruchung an Falten, Klüften und Störungen anzeigen wie Harnischtapeten, Gleitstriemung, Kluftbesen, Brekziierung und Mylonitisierung, Versatz und Schleppung an Schichten; weitere Verformungsanzeiger wie Boudinage und Pinch und Swell Strukturen, sowie synsedimentäre Strukturen u.a. wurden ebenfalls beschrieben. Sie wurden soweit wie möglich vermessen bzw. in den terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen bei der Auswertung gekennzeichnet und gesondert vermessen.

2.2. Auswertung der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen

Die Auswertung der Stereo-Photoplatten wurde am ZEISS Planimat D2 und Ecomat 11 (Registrierung der Flächenkoordinaten und Übertragung auf Lochkarten) durchgeführt. Die Umsetzung der Maschinenkoordinaten in geologische Koordinaten (Freiberger Format) erfolgte am Leibniz Rechenzentrum (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften mit Programm LINSORT.
Die erhaltenen Werte wurden mit Hilfe der Lagenkugelprojektion (SCHMIDT'sches Netz, untere Kugelhälfte und Programm GELI (HAYDN 1972) in Form von Flächenpolen dargestellt und daraus die prozentuale Besetzungsdichte (Isoliniendiagramm) berechnet.
In den Diagrammen sind ungefähr 15 000 Kluft- und 1 000 Schichtflächen der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen und der Handkompaßmessungen enthalten.
Die kleintektonischen Diagramme sind in Anhang III 1-6 nach regionalen Bereichen zusammengestellt. Dadurch sind zwar die Kluftgefüge einer stratigraphischen Einheit nicht direkt miteinander vergleichbar; dafür wird aber die tektonische Prägung eines regionalen Raumes (z.B. Maremane Dom oder Eisenlagerstätte Sishen) deutlicher.

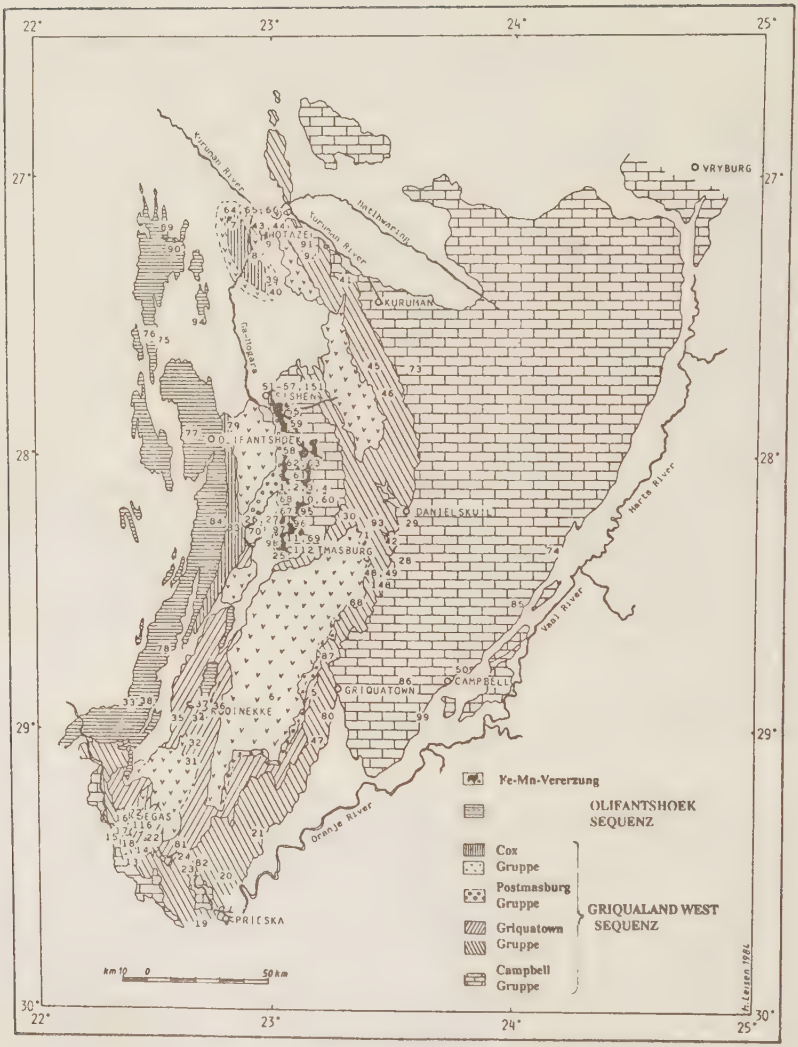


Abb. 2.2: Lage der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen und der Handmeßpunkte sowie sonstiger tektonischer Untersuchungsbereiche (die Meßbereiche sind durchnummeriert und entsprechen den Kennummern der kleintektonischen Diagramme im Anhang III).

Die häufig auftretende hohe Eigenmagnetisierung des Gesteins (Asbestos Hills Banded Ironstone, Koegas Jaspilite und Voelwater Formationen) ließ Handkompaßmessungen nicht zu. Da auch die Basismessungen für die terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen bis zu einem gewissen Grad hiervon betroffen sind, wurde ein möglichst großer Meßabstand zum Gestein eingehalten. Die Magnetfeld-induzierten Fehler waren so erheblich kleiner als direkt am Gestein, wo große, unsystematische Abweichungen auftraten.
Anhand von Sonnenschattenmessungen unter denselben Bedingungen konnte mit Hilfe einer gnomonischen Formel (J.HENKEL 1982, frdl. mdl. Mitt.)(s.u.) der wahre Basisazimut errechnet werden.
Die Hilfsdaten zur Ermittlung von Sonnenauf- und -untergang und wahrem Mittag auf dem entsprechenden Ortslängenkreis wurden durch Interpolation dem Astronomical Handbook for Southern Africa (1980/1981) entnommen.
Die Differenz zwischen dem Azimut des Sonnenschattens der Kompaßmessung und des berechneten Winkels (berechneter Winkel des Sonnenschattens am Boden zur Zeit t am Tag d) ergab den Korrekturwinkel für die gemessene TMK-Basis.

Formel zur Korrektur der TMK-Basis Messung

$$\Phi = f(\Phi\circ,\beta,d) = tg^{-1}\ tg(\Phi\circ):\cos|(90°-\beta)+23{,}5°\cdot\sin(d\cdot 360°:365)|$$

Φ = Winkel des Sonnenschattens am Boden
$\Phi\circ$= wahre Sonnenelevation zur Meßzeit auf entspr. geogr. Breite
= |wahrer Mittag-Meßzeit|·360:24 |Grad|
β = geogr. Breite des Meßpunktes
d = Tag der Messung
α = Ekliptik am Tag d = (90°-β)+23,5°·sin(d·360°:365) |Grad|
23,5°= Winkel der Ekliptik bei der Sonnenwende

2.3. Auswertung der Satellitenbilder

2.3.1. Satellitenbilddaten (Anhang I)

Für die Satellitenbildinterpretation standen die Daten von sechs verschiedenen Landsat 1 und 2 MSS Aufnahmen (Tab. 2.1) zur Verfügung. Die Lage der Einzelszenen ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Die digitale Verarbeitung erfolgte am Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München mit den dort z.T. entwickelten bzw. optimierten Bildverarbeitungsverfahren (HAYDN 1977, HAYDN et al. 1982).
Die Auswertung der Satellitenbilder wurde im Maßstab 1:500 000 durchgeführt. Die so erstellten Karten wurden anschließend auf den Maßstab 1:1 000 000 verkleinert.

BILD -NR.	ID-NR.	AUFNAHME-TAG	AUFNAHME-ZEIT (OZ)	MITTELPUNKTS-KOORDINATEN	SONNEN EL	SONNEN AZ
1	1052 07475	13.09.72	$9^h47'50"$	$S27^\circ21'49"$ $E23^\circ52'25"$	41°	55°
2	1052 07481	13.09.72	$9^h48'10"$	$S28^\circ47'43"$ $E23^\circ28'37"$	40°	54°
3	1053 07533	14.09.72	$9^h53'30"$	$S27^\circ24'57"$ $E22^\circ26'03"$	42°	55°
4	1053 07540	14.09.72	$9^h54'00"$	$S28^\circ50'57"$ $E22^\circ02'13"$	41°	55°
5	1179 07541	18.01.73	$9^h54'10"$	$S27^\circ59'34"$ $E22^\circ14'33"$	51°	88°
6	2319 07402	07.12.75	$9^h40'20"$	$S27^\circ20'00"$ $E22^\circ29'00"$	53°	91°

Tab. 2.1: Daten der verwendeten Landsat 1 und 2 Bänder (s. Anhang I).

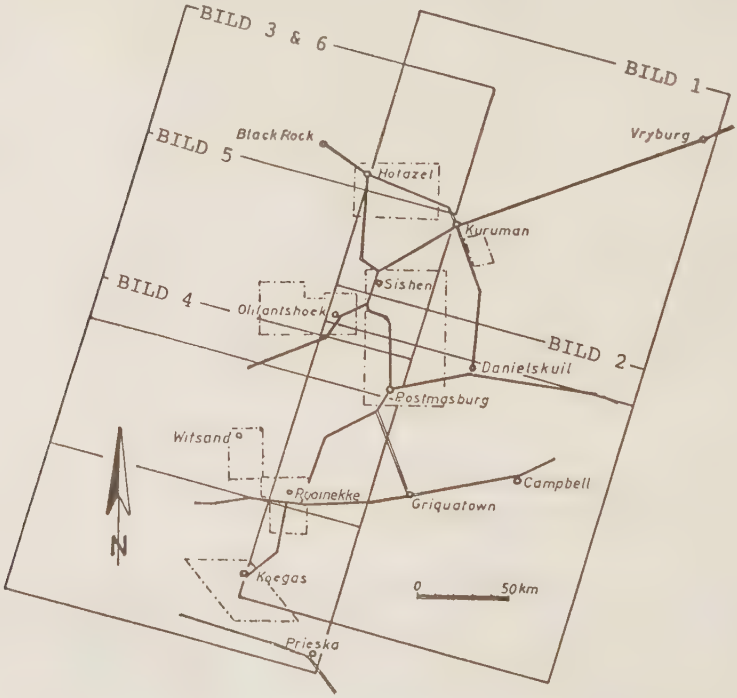


Abb. 2.3: Lage der Satellitenbildbedeckung (———) und der Detailkartierungen ausgewählter Luftbildbereiche (—•—•—) (s. Anhang I).

Nachfolgend (Kap. 3.) wird eine detaillierte Beschreibung des Auswerteweges, der auch für modernere Fernerkundungssysteme (MOMS, TM) mit Daten in anderen Wellenbereichen der gleiche bleibt, gegeben.
Als Datenvorlagen standen folgende Bildverarbeitungsprodukte zur Verfügung (Anhang I):

1. s/w kontrastverstärkte und 'high pass' gefilterte MSS-Auszüge*
2. Color Infrarot Composit (CIR) (Falschfarbendarstellung) mit R(ot) G(rün) B(lau)Codierung durch additive Farbfilterung (MSS Kanal 4 = blau, MSS Kanal 5 = grün, MSS Kanal 7 = rot)
3. s/w Ratioabbildungen benachbarter Spektralkanäle (MSS 4/MSS 5, MSS 5/MSS 6, MSS 6/MSS 7, MSS 5/MSS 7, MSS 4/MSS 7)
4. Color Ratio Composit (CRC) (Falschfarben-Ratiodarstellung), das in Anlehnung an GILLESPIE (1980) farbcodiert wurde: gelb (MSS 4/MSS 5), magenta (MSS 5/MSS 6), cyan (MSS 6/MSS 7)

Die Daten der Positionen 3 und 4 (Frühjahrsaufnahmen) bzw. 5 und 6 (Sommeraufnahmen)(Tab. 2.1 & Abb. 2.3) dienten der multitemporalen Auswertung.

Die oben beschriebenen Bildverarbeitungsprodukte sind nutzerfreundlich:
Es wurden bewußt nur Standardbildverarbeitungen (HAYDN 1977, HAYDN et al. 1982a) angewendet, um die Möglichkeiten ihres Einsatzes z.B. bei Erstkartierungen in Entwicklungsländern aufzuzeigen.
Mit Ausnahme des Color Ratio Composits (CRC) stehen Grauton und Farbe der Abbildungen noch in einem direkten Verhältnis zu den ihnen zugrunde liegenden spektralen Charakteristika und können so direkt interpretiert werden.
Weiter sind diese Bilder jederzeit für nahezu alle Bereiche der Erdoberfläche bei entsprechenden Institutionen zu relativ günstigen Preisen zu beziehen. Ein Datenpaket mit Standard-Bildverarbeitungsprodukten deckt die meisten Fragestellungen ab und ist äußerst hilfreich zur Beschreibung weiterer sinnvoller Verarbeitungsprodukte.

2.3.2. Satellitenbildauswertung

Bereits vor dem Geländeaufenthalt wurde eine geologisch-tektonische Satellitenbildinterpretation durchgeführt. Sie diente als Basiskarte für die Feldarbeit und erleichterte die kleintektonische Aufnahme durch die Kenntnis wichtiger Strukturen und der Verteilung geologischer Einheiten.

* MSS 4 = 0.5-0.6 µm, MSS 5 = 0.61-0.7 µm, MSS 6 = 0.71-0.8 µm, MSS 7 = 0.81-1.1 µm

Neben den konventionellen photogeologischen Methoden kamen bei der Interpretation Verfahren zum Einsatz, die dem multispektralen und multitemporalen Charakter der Landsataufnahmen entsprechen. Diese umfassen die Analyse des spektralen Informationsgehaltes vor allem durch Ratiodarstellungen und die Erfassung der jahreszeitlichen Veränderungen in multitemporalen Daten.
Die unterschiedliche Intensität der Sonneneinstrahlung in den Sommer- bzw. Winter-/Frühjahrsaufnahmen ermöglichte über jahreszeitliche Einflüsse eine bessere Identifikation spektraler Signaturen als Basis der lithologischen Kartierung. Unterschiedlicher Sonnenstand (Azimut und Elevation: Tab. 2.1) verursacht abweichende Schattenbildung und verbessert so die Strukturkartierung (Großstrukturen, Lineamente, Gewässernetz) entscheidend (KAUFMANN & JASKOLLA 1983).
Um Kartierfehler ('Fehlalarmsignaturen', 'man made effects') bei der Lineamentauswertung zu vermeiden, wurde in den multitemporalen Landsatabspielungen eine Kartierung der Farmgrenzen durchgeführt, welche durch Unterschiede in der Vegetation und dem Beweidungszustand angezeigt werden.
Die Strukturkartierung erfolgte bevorzugt im MSS Kanal 7 der Frühjahrsaufnahmen, da auf Grund des niedrigen Sonnenstandes die Strukturparameter besser abgebildet sind. Außerdem wurde so eine Überlagerung des Sonnenazimut mit der Richtung der Scanlinien vermieden, was die Kartierung ca. E-W-gerichteter Lineamente und Strukturen mit Einschränkungen ermöglichte.
Die beiden Aufnahmestreifen der Aufnahmen von 1972 verfügen über eine knapp 30 %ige Überlappung, welche eine stereoskopische Auswertung des Zentralbereiches mit dem Maremane Dom zuließ. Hierdurch ist eine bessere Ansprache der Geomorphologie und eine höhere Lagegenauigkeit der kartierten Elemente gegeben. Der Überhöhungsfaktor beträgt nach SABINS (1978) ungefähr 1.05.

2.3.3. Verarbeitung der Ergebnisse

Die verschiedenen Kartierungen konnten aufgrund der geringen geometrischen Verzerrung der Landsataufnahmen (SABINS 1978) direkt in ein Koordinatennetz eingepaßt werden.
Die Umsetzung der Lineamentkarte in Richtungsrosen, getrennt nach stratigraphischen Einheiten (Abb. 2.4), erfolgte an der Digitalisiereinheit der Fa. KONTRON und dem Tischrechner HEWLETT PACKARD 9845 S. Dabei wurden die Rechenprogramme LINDIG, LINEBN UND RNLPLT (HENKEL 1982) verwendet.
Die Lineamente wurden nach Anzahl, Länge und mittlerer Länge in 10°-Intervallen (355°-4°, 5°-14° usw.) ausgezählt und zur weiteren Interpretation in Richtungsrosen mit Anzahl (rechte Diagrammhälfte) und Länge (linke Diagrammhälfte) dargestellt.
Für die Interpretation der Richtungsverteilungen wurde die Relevanz der verschiedenen Maxima durch Bildung des arithmetischen Mittels geprüft. Hierdurch werden die Maxima gegenüber den Durchschnittswerten aussagekräftiger.

Insgesamt wurden 5458 Satellitenbildlineamente mit einer Gesamtlänge von 37 198 km kartiert und ausgewertet.

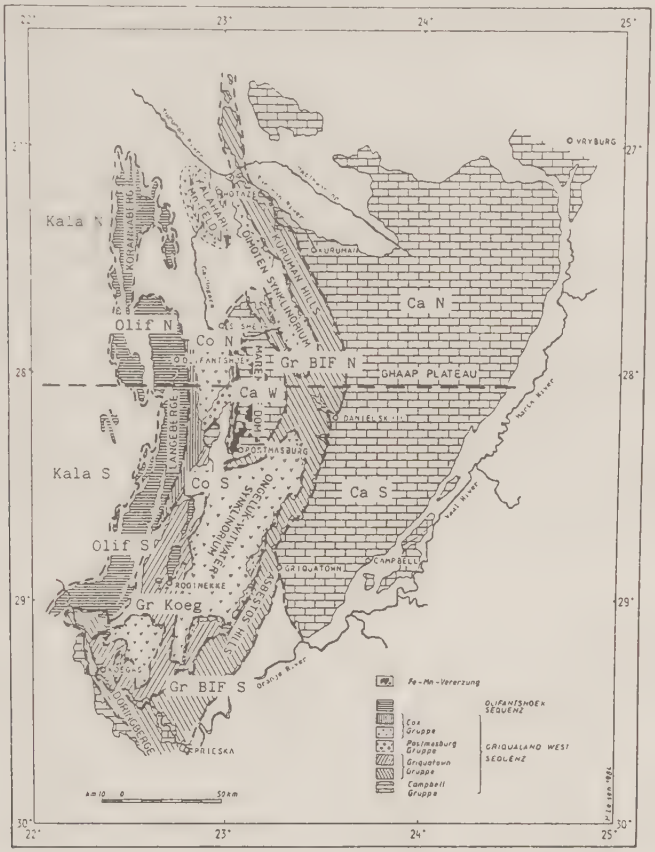


Abb. 2.4: Lineamentauswertebereiche mit Kurzbezeichnung der stratigraphischen Einheiten (---- = Grenzen der Auswertebereiche).
Ca N, Ca S, Ca W: Campbell Gruppe Nord, Süd, West
Gr BIF N, Gr BIF S: Asbestos Hills BIF Nord, Süd
Gr Koeg: Koegas Formation
Co N, Co S: Cox Gruppe Nord, Süd
Olif N, Olif S: Olifantshoek Sequenz Nord, Süd
Kala N, Kala S: Kalahari Gruppe Nord, Süd

2.4. Auswertung der Luftbilder in ausgewählten Bereichen

2.4.1. Allgemeines

Die Luftbilduntersuchungen dienten zur Unterstützung der Ergebnisse aus der Satellitenbildauswertung und der kleintektonischen Aufnahme und werden jeweils dort, wo sie herangezogen wurden, besprochen.
War zur Deutung kleintektonischer Diagramme eine größere Synopsis nötig wie z.B. zur Ermittlung von Faltenachsen (regionaler Faltungstrend), zur Prüfung ob im weiteren TMK-Meßbereich Störungen auftreten und welchen Charakter sie besitzen, und zur geologischen Kartierung der Umgebung der tektonischen Untersuchungsbereiche, so wurde auf Luftbilder zurückgegriffen. Gegenüber Satellitenbildern bieten die Luftaufnahmen eine weitaus größere Detailgenauigkeit durch ihre höhere Auflösung. Dadurch wird u.a. die Kartierung von Versatzrichtungen und -beträgen an Störungen, die im Satellitenbild häufig schwer oder gar nicht erkennbar sind (SMOLKA 1977), möglich.
Geländeuntersuchungen und -ergebnisse konnten ebenfalls im Luftbild verifiziert werden.
Zur Ansprache und Abgrenzung der Karststrukturen zwischen Sishen und Maremane im Norden des Maremane Doms leistete ein unkontrolliertes (nicht entzerrtes) Luftbildmosaik einer Thermalinfrarot-Befliegung der Fa. SPECTRAL AFRICA, Randfontein, RSA (Anhang I8) große Hilfe. Die mit einem DORNIER 2-Kanal Scanner aufgenommenen Daten wurden freundlicherweise von Prof. B. Verhagen vom Nuclear Physics Department der Witwatersrand Universität, Johannesburg zur Verfügung gestellt.

2.4.2. Luftbilddaten

Als Auswerteunterlagen standen panchromatische Luftbilder des Geological Survey der Republik Südafrika in verschiedenen Maßstäben zur Verfügung, die entsprechend der Auswertebereiche (Abb. 2.3) nachfolgend aufgelistet sind.

Kalahari - Asbestos Hills	Maßstab	1:50 000
Maremane Dom zwischen Sishen und Maremane	-"-	1:50 000
Maremane Dom zwischen Maremane und Postmasburg	-"-	1:60 000
Olifantshoek Sequenz:		
Bereich Olifantshoek und Witsand	-"-	1:50 000
Umgebung von Rooinekke - Cairntop -Griquatown	-"-	1:50 000
Bereich Prieska - Koegas	-"-	1:50 000

Die Interpretation wurde unter einem WILD Spiegelstereoskop durchgeführt und an einem BAUSCH & LOMB Transfer Scope auf Kartengrundlage (1:50 000) umgezeichnet.
Die Luftbildlineamente, Gänge und Störungen wurden, wie in Kapitel 2.3.3. beschrieben, verarbeitet und in Richtungsrosen dargestellt.

3. Ergebnisse der Satellitenbildauswertung

Da die genaue Kenntnis der geologisch-lithologischen Zusammenhänge Grundvoraussetzung für tektonische Untersuchungen ist, werden hier zuerst die Ergebnisse der photogeologischen Kartierung im Satellitenbild beschrieben. In Punkt 4., 5. und 6. folgen die tektonischen Interpretationen der Satellitenbildauswertung und die Resultate der kleintektonischen Aufnahme.
Die Interpretation der Satellitenbilddaten gliederte sich in vier Schritte:
1. Geologisch-lithologische Kartierung
2. Großstrukturkartierung und Lineamentauswertung
3. Gewässernetzkartierung
4. Begleitende Luftbilduntersuchungen

Dabei sollen alle Möglichkeiten der photogeologischen Kartierung einschließlich des unterschiedlichen Spektralverhaltens verschiedener Oberflächen aufgezeigt und eine Darstellung der photogeologischen Interpretationsmethoden gegeben werden.
Durch den Überblick (Synopsis), den das vier Szenen umfassende Landsatmosaik bietet, können die wesentlichen Bauteile der Griqualand West und Olifantshoek Sequenz auf einen Blick erfaßt und kartiert werden. Großstrukturen wie Sattel-Mulden-Systeme, Großlineamente und weit aushaltende Gangscharen sind über ihre gesamte Erstreckung verfolgbar. Vor allem können Bruchstrukturen, die im Gelände aufgrund der weit fortgeschrittenen Erosion nicht als solche anzusprechen sind, als klar definierte Linien dargestellt werden.

3.1. Geologisch-lithologische Kartierung

Das Arbeitsgebiet mit den Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen eignet sich sehr gut zur geologisch-lithologischen Kartierung im Satellitenbild.
Zum einen liegt es im semiariden bis ariden Klimabereich (Abb. 1.2), so daß eine der Hauptvoraussetzungen für eine optimale Auswertung, eine geringe Vegetationsdecke (ABRAMS et al. 1980, COLE 1982, SABINS 1978, VILJOEN und VILJOEN 1975), erfüllt ist.
Zum anderen sind die Serien aus geologischen und geomorphologischen Einheiten von zum Teil subkontinentaler Dimension aufgebaut. Einzelne Formationen erreichen bis zu 400 km Längserstreckung. Ein ständiger Wechsel im Relief unterstützt zudem die Ansprache der verschiedenen Gesteinseinheiten.
Es kommt bis auf wenige Bereiche die konventionelle photogeologische Interpretation zur Anwendung.
Im folgenden wird die geologisch-lithologische Auswertung der Satellitendaten nach den Interpretationskriterien: Farbe, Ton oder Helligkeit, Textur und Muster sowie geomorphologischen Faktoren beschrieben (Tab. 3.1 und Anhang IV 1.2.). Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind in der geologisch-lithologischen Karte (Anhang II 1) dargestellt.

Stratigraphie: Sequenz	Gruppe	Formation	Glied	1 Farbe RGB	2 Albedo Kn 7	Kn 4	3 Textur-Muster-Geomorphologie-Struktur	4 Gewässernetz	5 Vegetation	6 Unterschiede zu Hangendem (H) & Liegendem (L)	7 Bemerkungen
Tertiär-Quartär-Rezent	Kalahari Gruppe	[illegible] und weiße Sande		weiß	1	1	[illegible] weiße Sande [illegible] Kalahariaande		Keine Vegetation	Farbe, Albedo	[illegible] Kalahariaanden, keine [illegible]
		Kalahari Sande (rote Sande)	ebene Flächen	hellgelb	1-2	2	weite zum größten Teil ebene Flächen, kein Relief, kaum Strukturen, deutliche Farm-/Feldergrenzen durch unterschiedliche Beweidung, leicht wolkig, feine bis mittlere Textur, Gewässernetz folgt den tektonischen Hauptrichtungen	subparallel bis rechtwinklig, angular, grob	dichter Steppengrasbewuchs, niedrige bis hohe Dornbüsche (engständig) z.T. rel. hohe Bäume, westl. der Lange-/Koranneberge z.T. Ödland, dürftiger Grasbewuchs	Kalahariaande unterscheiden sich deutlich durch Farbe und Albedo von Anstehendem, Kalkkrusten sind dunkler als Sande	Einheiten in der Kartierung zwar differenziert aber wegen Übersichtlichkeit nicht mit Signatur belegt Untere Heildung [illegible] 'weiß', innen deutl. mittel gelb bis ocker, Kalahariaande [illegible] Kalkkruste [illegible] ocker - orange - rot
			angewehte Sande	mittel bis dkl. gelb	2	3	in den Hangkehlen angewehte Kalahariaande, hauptsächlich westl. der Lange-/Koranneberge		kaum Gras, Dornbüsche und höhere Bäume		
			Dünen	dkl. gelb	(4)	4	longitudinale parallele Dünen		kaum Gras, häufig Dornbüsche und Bäume (höher als in der Umgebung)		
		Alluvionen		[illegible] rot (Vegetation)	[illegible] bzw. 4	[illegible] bzw. 5	[illegible] Teil [illegible], Feldereinteilung in landwirtschaftlichen Anbauflächen, fein texturiert		in Trockenflüssen keine Vegetation, an wasserführenden Flüssen intensiver landwirtschaftlicher Anbau (Irrigation)		vegetationslos
		Dolinen Pfannen		weiß	1	1	runde z.T. kreisförmige flache Depressionen		keine Vegetation		
		Kalkkrusten		graubraun mit bläulichem Stich	2-3(4)	2-3	weite ebene Flächen, kein Relief, wenig resistent, wenig strukturiert, deutliche Farm-/Feldergrenzen im Sommer, grobe Textur, wolkiges Muster, Gewässernetz folgt den tektonischen Hauptrichtungen	subparallel bis angular, zum Teil dentritisch	dichter Grasbewuchs, niedriger und engständiger Dornbuschbewuchs		im 4/5 Ratio & CRC deutlich von Sand zu unterscheiden
Sequenz	Gruppe	Formation	Glied								
Olifantshoek	Volop	Brulsand		hellgrau bis grün, brauner Stich	2	2	lang aushaltende ± N-S streichende Serien westl. der Langeberge, resistent, mittleres Relief, Rückenbildner, stark verfaltet (Schichtköpfe), stark durch Brüche zergliedert, fein texturiert		Norden: in den Tälern z.T. mächtige Sandablagerungen → dichter Gras- und Buschbestand (ca. 3m Höhe), z.T. hohe Bäume, auf den Hügeln kaum Gras, weitständige Dornbüsche Zentralbereich: in den Tälern Sandfüllung → dichter Grasbewuchs, vereinzelt Dornbüsche und Bäume, auf den Bergen von Ost nach West Abnahme der Vegetation E: rel. dichter Buschbestand W: kaum mehr Vegetation (Ödland) spärliche Grasnarbe, vereinzelt Büsche Süden: spärliche Grasnarbe, vereinzelte niedrige Dornbüsche	L: durch Sandflächen deutlich getrennt, Farbe, Albedo H: Farbe, Albedo, Struktur	Gesamtheit der Olifantshoek Sequenz gut wegen Großsynklinorium mit intensiv isoklinal verfalteten Serien kartierbar, weitgehend arid, Differenzierung der verschiedenen Glieder der Matsap Formation in den Einzelratios und im CRC durch unterschiedlichen Spektralverlauf möglich
		Matsap	Glen Lyon	graugrün bis dkl.braun	3	2-3	lang aushaltende ± N-S streichende Serien im Zentrum des Großsynklinoriums, gerundete Geländeformen (Ellies Rus Glied etwas stärker gerundet als Fuller & Glen Lyon Glied), resistent, Rückenbildner, Berg- und Tal Topographie, intensiv isoklinal verfaltet und nach Osten überfaltet, deutliche Schichtköpfe durch Härtlingsrippen, stark durch Brüche und Störungen zergliedert, nach Westen verkippt, fein texturiert, deutlich strukturiert, unregelmäßiges Muster	rudimentär, vergittert bis dentritisch, grob, geringe Durchlässigkeit, in Tälern hohe Versickerungsrate		L: Farbe, Struktur, Muster H: deutliche Trennung durch Sandflächen, Farbe, Albedo, Muster	
			Ellies Rus	dkl.braun bis grün	3-4	3					
			Fuller	grünbraun	3(-4)	2-3					
		Hartley		grünbraun	3	3(-4)	geringe Verbreitung (nur bei Olifantshoek kartiert), gerundete Geländeform, "Kreisstruktur"		schütterer Grasbewuchs	L&H: Farbe, Struktur	
		Lucknow		grün bis türkis "opalisierend"	3	2-3	lang aushaltende ± N-S streichende Serien, starkes Relief, resistent, Rückenbildner, steilstehende Schichten (Schichtköpfe), geringe Ausstrichbreite, gerundete Geländeformen mit Härtlingsrippen, fein texturiert, im Süden "marmoriert" "opalisierend" z.T. lineares Muster		Talfüllungen: Sand → rel. dichte Dornbusch- und Grasvegetation Hügel: dünner Grasbewuchs, niedrige weitständige Dornbüsche	L&H: Farbe, Struktur zu Sanden Kontrast in Farbe und Struktur sehr stark, im Übergangsbereich "opalisierend"	
Griqualand West	Cox	Voelwater		braungrün	3	3	lang aushaltende ± N-S streichende Serien, mittleres Relief, resistent, Rückenbildner, steilstehende Schichten (Schichtköpfe), im Westen rel. gering mächtig, im Norden von Kalaharisanden bedeckt, fein texturiert, lineares Muster		spärlicher Grasbewuchs, niedrige (<1.5m) Dornbüsche	L: Farbe, Struktur H: Farbe, Albedo (Sand)	im Kalahari Mangan Feld vollkommen mit Kalaharisanden bedeckt Differenzierung von Abbau- und Haldenbereichen im Ratio
		Ongeluk Andesit		gelbgrün bis gelb, grünbraun bis dkl. grün & braun	3 (N) 2 bzw. 3 (W) 3 (H)	3 1 bzw. 2 3 bzw. 4	weite flächenhafte Ausbreitung, im Westen und Norden eben bis wellig, gerundete Geländeformen z.T. "kissenartig" (N), dkl. aufgesetzte Strukturen (e. Farbe & Albedo) stellen höhere Hügel dar (kegel- bis tafelförmig), geringes bis mittleres Relief, resistent, im Westen durch Gänge und Störungen in rautenförmige Strukturen zerlegt, im Süden durch Gänge und Störungen in rautenförmige bis rechtwinklige Strukturen zerteilt, fein texturiert	im Süden & Westen: dentritisch bis rechtwinklig eng (hohe Abflußrate)	Westen: dichter Grasbewuchs, rel. dichter niedriger Dornbuschbewuchs Süden: weite grasbestandene Flächen, vereinzelt Dornbüsche oder Bäume, selten dichterer Dornbuschbewuchs	L: Farbe, Albedo, Struktur (flächenhafte Ausbreitung), Textur, Muster H: Farbe, Albedo, Struktur	deutlichstes Gewässernetz
	Postmasburg	Makganyene		dkl.braun mit dkl.grünem Stich	5	4-5	gerundete Geländeformen, mittleres Relief, resistent, fein texturiert		rudimentärer Grasbewuchs, dichter Dornbuschbestand	L: Farbe, Struktur, Position H: Farbe, Albedo, Struktur	[illegible], Maremane Dom gut kartierbar, sonst nur, wo im Gelände angetroffen
		Gamagara		dkl.braun bis dkl.rotbraun	4(-5)	5	langgezogene "schlangenförmige" Struktur am Westrand des Maremane Doms, mittleres Relief, Karststruktur, fein texturiert		rel. dichter Grasbewuchs, einzeln stehende niedrige Dornbüsche, z.T. Ödland	L: Farbe, Albedo, Struktur H: Farbe, Albedo, Struktur	Spektraler Unterschied zu Ostgürtel und gemischtem Verwitterungstyp (Ratio & CRC)
	Griquatown	Koegas		dkl. oliv bis grünbraun	4-5	4	tritt südl. Griquatown Lineament in Großmulde auf, gerundete bis spitze Geländeformen, mittleres bis starkes Relief, resistent, Rückenbildner, intensiv verfaltet (Schichtköpfe), Bruchstrukturen treten nicht sehr deutlich hervor, fein bis mittel texturiert	rudimentär, dentritisch	nahezu vegetationsloses Ödland wechselt mit grasarmen, Dornbusch bestandenen Flächen, Dornbüsche niedrig und weitständig, bei Koegas vereinzelt Köcherbäume	L: Farbe, Albedo, (Falten-) Struktur(en), Textur H: Farbe, Albedo, Struktur	Grenze zu Asbestos Hills Formation häufig nicht eindeutig, [illegible] als BIF, zwischen Koegas und Prieska im photogeol. [illegible] Einheiten [illegible]
		Asbestos Hills Banded Ironstone	Maremane (undiff.)	dkl.braun bis schwarz bzw. grünbraun	4	(4-)5	an Lineamente gebundene, rundliche bis kreisrunde Sinkhole- (Dolinen, Poljen) Strukturen, starkes Relief, resistent, Härtlinge		spärlicher Grasbewuchs, niedrige weitständige Dornbüsche, z.T. anstehender Fels (Fe/Mn)	L: Farbe, Albedo, (Ring-) struktur(en), Relief	prägnante Karststrukturen, nicht weiter differenzierbar, Ringstrukturen
			Danielskuil	stumpfes dkl. braun bis dkl. rotbraun	4	3-4	große Längserstreckung der Serien, rel. geringe Breitenausdehnung, gerundete bis kantige Geländeformen, starkes Relief, resistent (Fe-Chert-Wechsellagen), Rückenbildner, leicht West (E-Teil) bzw. Ost (W-Teil) fallend (Muldenstruktur), im Bereich Koegas-Prieska z.T. intensiv verfaltet (Schichtköpfe), stark von zueinander spitzwinkligen Bruchstrukturen durchzogen, stark geklüftet (Großklüfte), fein bis mittel texturiert, z.T. plattig (im SE: horizontalliegende Serien), gröber texturiert als Koegas Formation, im Süden Kuruman und Danielskuil Glieder nicht differenzierbar	rudimentär, subdentritisch, angular, relativ dicht, geringe Permeabilität	Nordbereich: buschlose, grasbestandene Flächen wechseln mit Dornbusch (weitständig, niedrig) bestandenen Flächen, vereinzelt höhere Bäume Zentralbereich: z.T. graslos, niedrige, weitständige Dornbüsche, z.T. dichter Gras- und Dornbuschbewuchs Südbereich: z.T. vegetationsloses Ödland, z.T. weitständige Grasbüschel und niedrige, weitständige Dornbüsche, z.T. vereinzelte Köcherbäume	L: Farbe, Albedo, Struktur (langgezogene Bergkette), Relief, Textur, Gewässernetz, Muster H: Farbe, Albedo, Struktur, z.T. Gewässernetz	nur teilweise (Norden und Zentralbereich, im Süden nicht) in Kuruman und Danielskuil Glieder differenzierbar, Grenzen unscharf, Kuruman Glied mit metallischem Glanz, Danielskuil Glied mit stumpfen Farbtönen, wegen Gesamtstruktur sehr gut von Hangendem und Liegendem zu trennen
			im Süden nicht diff.	dkl. ocker bis oliv							
			Kuruman	dkl.braun bis dkl.rotbraun, graugrüner Schleier mit metall. Glanz	4	3					
	Campbell	Ghaap Plateau Dolomit	Maremane (undiff.)	gelbbraun bis ocker, hell- bis dkl.rotbraun, grau bis graubraun (Kalkkrusten)	3(E) 3-4(W)	3(E) 4(W)	weite ebene Flächen, kaum Relief außer im Zentralbereich, wenig resistent, runde flache Depressionen (Karrenbildung), leicht Ost fallend (Schichtköpfe aus stärker quarzitischen Lagen), am Westrand West fallend, weitreichende Gangsysteme den tektonischen Hauptrichtungen folgend, mittel bis grob texturiert, z.T. wolkig	rudimentär, radial, grob (gute Durchlässigkeit)	dichter niedriger (<1.5m) Dornbuschbestand, dichter Grasbewuchs, selten Bäume (<4m), "Dornbuschsteppe"	L: ältere Formationen hier nicht aufgeschlossen H: Farbe, Albedo, Struktur, Muster	Bereich deutlich durch Karststrukturen kartierbar, Ulco Glied dunkler in Farbe und Albedo als jüngere Glieder der Campbell Gruppe
			Kalkkrusten	grau bis braun	2-3	2-3	weite ebene Flächen, kaum Relief, deutl. Farm-/Feldergrenzen, wolkige mittlere bis grobe Textur	rudimentär, parallel bis dentritisch, grob, weitständig, hohe Durchlässigkeit, große Karstquellen: The Eye in Kuruman; zahlreiche, z.T. sehr große Pfannen (Karren, Sinkholes)	weite offene Grasflächen, niedrige Büsche	L: Farbe, Albedo, z.T. Textur	bedecken große Teil des Ghaapplateaus
			Lime Acres	dkl. rotbraun, helles rotbraun, ocker	3(-4)	3-5	weite ebene Flächen, wenig resistent, kaum Relief, große Mächtigkeit, leicht West fallend, Vielzahl von flachen runden Depressionen (Karren, Sinkholes), weitreichende Gangsysteme (meist Karoo), mittel bis grob Textur [illegible] Großpfannen		weite offene Grasflächen [illegible] Busch- und Baumbestand wechseln mit Busch- und Baumgruppen bestandenen Flächen (weitständig)	L: Farbe, Albedo H: Farbe, Albedo, Struktur, Textur, Gewässernetz	[illegible] mit Kalkkrusten bedeckt, weitreichende Gangsysteme (meist Karoo) bis zu [illegible] km Länge, auf den Gängen häufig dichter Buschbestand, Siedlungen und Straßen, Ulco Glied mit den ausgeprägtesten Schichtköpfen der Campbell Gruppe Im 5/6 Ratio gute Kartiermöglichkeit der Gänge durch Vegetation (Aquifer)
			Fairfield	gelbbraun bis ocker (an der Basis)	3	3	ebene Flächen, wenig resistent, geringer mächtig, leicht West bzw. Südwest fallend (Schichtköpfe: Quarzitreiche Lagen als Härtlinge), Vielzahl von flachen runden Depressionen (Karren, Sinkholes), fein texturiert		offene Grasflächen wechseln mit Busch und Baum bestandenen Flächen	L: Grenze BIF Marker: Farbe, Albedo, Struktur H: Farbe, Albedo Kn 4	
			BIF Marker	dkl.braun	3	4	lineare Struktur (Härtlingsrücken), gerundet, resistent			L&H: Farbe, Struktur	
			Ulco	dkl.braun bis dkl.rotbraun z.T. mit blauviolettem Schleier	3 bzw. 4	3 bzw. 4	baut Escarpment auf, weite ebene Flächen, wenig resistent, kaum Relief, große Mächtigkeit, leicht West fallend bzw. Großmulde (im Norden) mit Südwest abtauchender B-Achse (Schichtköpfe), Vielzahl von runden Depressionen (Karren, Sinkholes), weitreichende Gangsysteme (meist Karoo), mittel texturiert, wolkiges, unregelmäßiges Muster		dichter Gras- und Dornbuschbewuchs	L: Farbe, Albedo, Struktur (Plateaurand) H: Farbe, Struktur (BIF Marker, Schichtköpfe)	
		Schmidtsdrif		ocker bis dkl. braun, blaubraun, grünblau mit braunem Stich	3-4	3 bzw. 3-4	z.T. lineare Strukturen, kantige Geländeformen, flach nach West einfallend (Schichtköpfe), fein texturiert		dichter Grasbewuchs mit dichtem niedrigem Dornbuschbestand, z.T. vereinzelt höhere Bäume	L: Farbe, Albedo, Struktur H: Farbe, Albedo, Struktur, Position zum Plateaurand, Textur	baut z.T. Escarpment mit auf
		Vryburg		gelbgrün bis grünbraun grün	4	3(-4)	rel. geringe Mächtigkeit, gut gerundete Geländeformen (z.T. Ringstrukturen), mittleres Relief, fein texturiert		rel. dichter Steppengrasbewuchs und Dornbuschbestand	L: Albedo H: Farbe, Struktur (starker Kontrast zu Karoobedeckung)	tritt vor allem östl. des Plateaurandes bzw. im Norden und Nordosten auf, schwierig auszuhalten
Ventersdorp Supergroup				gelbbraun bis grüngelb	3	3	gerundete Geländeformen, geringes bis mittleres Relief, resistent, stark von Brüchen durchzogen, fein texturiert	rudimentär, dendritisch, z.T. rechtwinklig	Steppengrasbewuchs, im Süden kaum mehr Vegetation (Ödland)	L: ältere Serien im Arbeitsgebiet nicht aufgeschlossen H: Farbe, Albedo, Struktur (vor allem zu Karoo)	rel. kleine Vorkommen im Arbeitsgebiet im Osten und Südosten

ALBEDOKLASSEN

1 stark	(weiß)	Kn 7: starke Vegetation Kn 4 & 7: weiße Sande vom Witsand
2	(hellgrau)	Kn 7: Ongeluk Andesite westl. des Maremane Dome Kn 4: Wasser und ebene Sandflächen
3 mittel	(mittelgrau)	Kn 7: Ongeluk Andesite im Witwatersynklinorium Kn 4: Gesteine der Matsap Formation und angewehte Sande
4	(dunkelgrau)	Kn 7: Asbestos Hills Formation Kn 4: Koegas Formation
5 gering	(schwarz)	Kn 7: Wasser Kn 4: starke Vegetation, Karstfüllungen auf dem Maremane Dom

Tab. 3.1:
Photogeologischer Schlüssel für die geologisch-lithologische Satellitenbildauswertung und Beschreibung der stratigraphischen Einheiten (siehe Kartentasche).

3.1.1. Oberflächendifferenzierung im s/w Spektralauszug und Falschfarbenbild (CIR Composit)

3.1.1.1. Farbe

Die Farbe ist für die herkömmliche photogeologische Kartierung eines der wichtigsten Unterscheidungskriterien. Trotz relativ geringer Farbkontraste in ariden Gebieten, die durch die hohe Korrelation der Landsat MSS Kanäle bedingt sind (BODECHTEL et al. 1974a, HAYDN et al. 1980), kann mit Hilfe der Farbe eine Untergliederung der wesentlichsten stratigraphischen Einheiten vorgenommen werden (Tab. 3.1, Spalte 1).
Vor allem die karbonatischen Serien der Campbell Gruppe mit ihren wechselnden Gehalten an Chert lassen sich aufgrund ihres unterschiedlichen Reflexionsverhaltens und damit ihrer farblichen Differenzierung kartieren.
Kalk- und Chertkrusten (braun), die weite Bereiche des Ghaap Plateaus bedecken, sind auch in anderen Bereichen deutlich von tertiären bis rezenten Bildungen (Kalaharisande: gelb) zu trennen. Dies erweist sich als ein wichtiges Kartiermerkmal. Die Ongeluk Laven der Cox Gruppe zeigen, außer wo sie mit Schutt bedeckt sind, keinerlei Kalkkrusten. Sie sind weitgehend mit roten bis ockerfarbenen Sanden bedeckt. Dies gibt ihnen ein typisch gelbgrünes Aussehen im Landsat CIR Composit. So können kissenförmige Strukturen am Westrand der Kuruman Hills östlich Hotazel aufgrund ihrer Spektralfarbe als Ongeluk Andesite und nicht wie in der amtlichen Geologischen Karte (MOEN 1979) als Kalkkrusten identifiziert werden.
Im Süden des Arbeitsgebietes, im Bereich Koegas - Prieska, weisen deutliche Farbunterschiede auf verschiedene stratigraphische Einheiten hin: bläulich-rötliche Serien der Campbell Gruppe heben sich scharf von der dunklen oliv bis grünbraunen Griquatown Gruppe ab.
Eine Feindifferenzierung der Griquatown Gruppe ist nur im Zusammenspiel von Farbe, Textur und Muster einigermaßen sicher.
Die Koegas Formation läßt sich farblich in weitere photogeologische Einheiten unterteilen, die teilweise mit stratigraphischen Gliedern (VAJNER 1974a) korrelierbar sind. Die Grenzziehung ist jedoch zuweilen unscharf.

Diese Aussagen gelten ebenso für die Gesteine der Olifantshoek Sequenz. Feine Farbnuancen im Matsap Synklinorium lassen eine weitere Differenzierung in Verbindung mit anderen Kriterien zu.
Aber lediglich die Lucknow Formation hebt sich durch ihre grüne Farbe im CIR Composit deutlich von den grünbraunen Matsap Serien ab. Hervorragend läßt sie sich durch ihre "opalisierende" Farbe abgrenzen. Die weitverbreitete gelbe Farbe im Falschfarbenbild ist auf die typische Rotfärbung der hämatitischen Kalahari Sande zurückzuführen.

3.1.1.2. Albedo

Die Albedo einer reflektierenden Oberfläche wird durch den Grauton bzw. die Helligkeit des Grautones im s/w-Bild dargestellt. Da das menschliche Auge nur wenige Graustufen sicher trennen kann (SABINS 1978), wurden in den MSS-s/w-Auszügen außer weiß und schwarz nur drei weitere Albedoklassen definiert (Tab. 3.1.).
Spalte 2 in Tabelle 3.1 zeigt, daß im Bereich der anstehenden Gesteine mittlere bis dunkle Grautöne vorherrschen; die Übergänge sind häufig fließend. Lediglich tertiäre bis rezente Ablagerungen besitzen ein mittleres bis hohes Reflexionsvermögen in den Landsat MSS Kanälen. Schatten behindern z. B. bei starkem Relief eine gesicherte Albedoansprache.
Besonders deutlich wird in Spalte 2 die hohe Korrelation der verschiedenen Spektralkanäle, hier dargestellt durch Kanal 4 und 7. Lediglich dichte, grüne Vegetation und - mit Einschränkungen - Kalaharisande (Eisenoxidgehalt) besitzen eine starke spektrale Differenzierung.

3.1.1.3. Geomorphologie - Textur - Muster - Struktur

In Spalte 3 der Tabelle 3.1 sind geomorphologische, texturelle, das Muster betreffende und strukturelle Beschreibungen der unterschiedlichen stratigraphischen Einheiten zusammengefaßt. Ein Blick auf das Landsatmosaik (Anhang I 1) macht die starke geomorphologische Gliederung der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen deutlich.
Die Ansprache morphologischer Strukturen (Landformen, Relief) für die wesentlichen stratigraphischen Einheiten konnte durch die stereoskopische Betrachtung (Kap. 2.3.2.) optimiert werden.
Deutlich ragen aus der nahezu reliefosen Ebene des Maremane Doms die resistenten Füllungen der präkambrischen Karststrukturen (Sinkholes) mit ihren Eisen-Mangan-Vererzungen heraus und sind dadurch ausgezeichnet kartierbar.
Starke morphologische Unterschiede zeigen sich auch in den Oberflächenformen der anderen Formationen:
Großenteils weite ebene Flächen mit wenig erhabenen Härtlingsrippen (Schichtköpfe mit hohem Chertgehalt) kennzeichnen die Ghaap Plateau Dolomit Formation. Diese ist im Osten durch einen großen Abbruch (Escarpment), der an den tektonischen Hauptrichtungen orientiert ist, begrenzt. Die markante Geländestufe erstreckt sich über nahezu 200 km.
Eine Unterscheidung hinsichtlich der einzelnen Glieder ergibt sich hier neben der Farbe vor allem durch die Textur. Sie ist teils fein, teils mittel bis grob, wolkig oder linear und von einem subrechtwinkeligen Landnutzungsmuster überprägt. Die einzelnen Serien streichen ungefähr NNE-SSW und die überall auftretenden Schichtköpfe, welche im Nordosten besonders intensiv hervortreten, lassen den Muldenbau der Campbell Gruppe erkennen.

Die auffallendsten Strukturen stellen die bis zu 250 km weit verfolgbaren Gangscharen dar, die bevorzugt in NNE- und WNW-Richtung verlaufen. Untergeordnet treten aber auch NW- und NE-orientierte Systeme auf (Anhang II 2 und Kap. 4.3).
Die Höhenzüge, die durch Asbestos Hills und Koegas Formation gebildet werden (Kuruman und Asbestos Hills), weisen gegenüber dem Ghaap Plateau ein starkes Relief mit tiefen, bruchbedingten Einschnitten auf. Das Relief der Asbestos Hills BIF ist erkennbar stärker als jenes der Koegas Formation, und in Verbindung mit der z. T. "plattigen" Textur der BIF im Süden stellt es ein wesentliches Differenzierungsmerkmal zwischen beiden Formationen dar.
Weiter sind in der Koegas Formation ausgeprägte Faltenstrukturen mit steilstehenden Schichten erkennbar, während die Asbestos Hills BIF, außer im Süden, geringe Schichtneigungen zeigen.

Infolge der lange andauernden Erosion sind die Landformen der gebänderten Eisensteine weitgehend gerundet (Abb. 3.2b), bzw. bilden, wo sie nahezu horizontal gelagert sind, Schichtstufen mit typischen, kegelförmigen Zeugenbergen (Spionskop).
Im nördlichen Arbeitsgebiet bilden die Asbestos Hills BIF eine Mulde mit nach N abtauchender Achse (Dimoten Synklinorium). Im Süden liegen die Laven der Ongeluk Andesit Formation in einer durch die Griquatown Gruppe gebildeten beckenartigen Struktur. Bei Koegas treten nochmals Ongeluk Andesite in Trögen auf, die z.T. durch Bruchstrukturen begrenzt werden (Abrahamsdam Synklinorium u.a.).
Die Ongeluk Laven bilden in der Regel ein welliges Hügelland mit teilweise kissenförmigen Strukturen, die durch ein orthogonales Bruchmuster geprägt sind. Zu den Beckenrändern hin wird das Relief stärker, verursacht durch eine Verbiegung der Lavenlagen ("Schichten"), so daß unterschiedliche Lavenhorizonte an der Oberfläche in Erscheinung treten. Textur und Struktur unterscheiden sich deutlich von jenen Bereichen mit "flach liegenden" Andesiten. In Verbindung mit dem Gewässernetz (Kap. 3.1.1.4.) besitzen sie ein typisches Erscheinungsbild, das sie deutlich von anderen Formationen abhebt.
Scharfe, langgezogene Rippen kennzeichnen die steilstehenden Voelwater Jasper und Lucknow Quarzite. Ihre Schichtköpfe ragen durch die Resistenz der Banded Iron Stones und Quarzite markant aus den sie umgebenden Kalahari Sanden.
Teile der Lucknow Formation bei Rooinekke besitzen schillernde "Marmortextur" und sind deshalb sehr gut auszuhalten.
Die Matsap Formation bildet den Kern eines ca. N-S verlaufenden Synklinoriums mit starkem Relief und ausgesprochen ausgeprägter Berg- und Tal-Topographie. Die Landformen sind gut gerundet und tiefe Einschnitte, verursacht durch Falten- und Bruchstrukturen, sind prägnante Kennzeichen dieser Formation. Geringe Texturunterschiede in Verbindung mit Ton und Farbe ermöglichen eine Feindifferenzierung. Härtlingsrippen formen signifikante Schichtköpfe, die einen en échelon- (CAMPBELL 1958) Bau des Synklinoriums im Süden vermuten lassen.
Das Aussehen der jungen Bildungen (Tertiär bis rezent) ist sehr unterschiedlich.

Prägende Strukturen im Bereich der Kalahari Sande sind bevorzugt NW-SE-orientierte lineare Dünen, die durch ihr relativ starkes Relief gut kartierbar sind. Außerdem sind sie durch ein grobes Muster von Farm- und Landnutzungsgrenzen gekennzeichnet, das hier wesentlich stärker in Erscheinung tritt als in anderen Bereichen. Die Alluvionen sind meist fein texturiert, ohne Relief aber mit teilweise erkennbaren Schüttungsstrukturen.
Grobe, häufig wolkige Textur weisen dagegen die rezenten Kalk- und Chertkrusten auf, die ebenfalls keine nennenswerten Erhebungen besitzen.

3.1.1.4. Gewässernetz

Die Kenntnis des Gewässernetzes ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Identifikation von Gesteinseinheiten (FRANCICA 1982, LILLESAND & KIEFER 1979). Unterschiede im Erscheinungsbild (Muster und Dichte) bedeuten in der Regel einen Wechsel der Gesteine. Die Fließrichtungen zeigen zusätzlich die Stärke des tektonischen Einflusses an (LILLESAND & KIEFER 1979).
Das Entwässerungsnetz im Arbeitsgebiet (Anhang II 4) befindet sich großenteils im Zustand der Unreife. Nur einige Abflußbecken zeigen eine reiche Verzweigung der Talsegmente und besitzen höhere Ordnungszahlen. Der größte Teil der Flußtäler sind Trockentäler, die nur periodisch bei größeren Niederschlägen Wasser führen, sofern nicht die Versickerungsrate im Sand und in Karstsystemen höher ist.
Bei den Gewässernetztypen handelt es sich fast ausschließlich um Mischtypen von Standardnetzen. Der tektonische und z.T. der lithologische Einfluß ist unverkennbar (Tab. 3.1).
Typisch für die flach liegenden Dolomite und Kalksteine des Ghaap Plateaus im Osten und Südosten ist der weitständige, grob texturierte, parallele Verlauf der Gewässerrinnen. Nur wenige Hauptäste besitzen verzweigte Zuflüsse. Ein Auffächern der Flußarme in der Fließrichtung läßt gelegentlich kleine Versickerungsbecken erkennen. Auffallend ist die Vielzahl von Salzpfannen mit Durchmessern bis zu 5 km, die rezente Verkarstung anzeigen und teilweise wassergefüllt sind.
Die Flüsse entwässern alle nach ESE bis SE und damit entgegen dem Schichtfallen der verschiedenen Glieder der Campbell Gruppe. Im NW-Bereich des Ghaap Plateaus, der schon erhebliche Kalahari Sandbedeckung aufweist, entwässern die Flüsse alle nach NW. Auffallend ist hier, daß die Zuflüsse des Kuruman River, des Matlhwaring und des Moshaweng fast ausschließlich aus dem Süden kommen. Die Orientierung der Hauptäste verläuft WNW, die der Zuflüsse NNW.
Das Entwässerungsnetz der Asbestos Hills und Koegas Banded Ironstone Formation ist etwas dichter und weist auf eine höhere Abflußrate hin. Es folgt vorzugsweise den tektonischen Hauptrichtungen (Kap. 4.), d.h. Gräben und Brüchen in ungef. N-S-, NW-SE- und NE-SW-Richtung. Häufig jedoch enden die Bachrinnen in Sand- und Schuttbedeckung, und ihre Fortsetzung ist nicht mehr kartierbar.

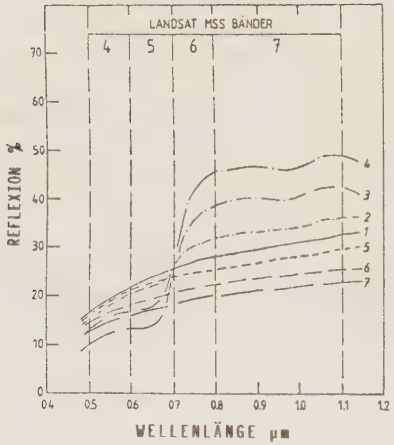
Das ausgeprägteste Gewässernetz besitzt die Ongeluk Andesit Formation. Es ist fein texturiert, dentritisch bis rechtwinkelig und läßt auf eine relativ hohe Abflußrate schließen. Die Nebenäste sind oft in NW-SE-Richtung entwickelt, die Hauptäste dagegen folgen zumindest im Süden einer NE-SW-Richtung.
Nur noch rudimentär sind die Abflüsse in den Lange- und Koranna-bergen ausgebildet. Es läßt sich, bedingt durch die intensive Verfaltung der Olifantshoek Sequenz, ein vergittertes bis dentritisches Netz vermuten. Die Versickerungs- und Verdunstungsrate ist naturgemäß sehr hoch.
Hochentwickelte dentritische Gewässernetzmuster wie z.B. im Südwesten können den liegenden Ventersdorplaven bzw. den Basisgraniten der Skalkseput und Draghoender Formation zugeordnet werden.
Aus der Anlage des Gewässernetzes läßt sich eine ungefähr NE-SW-orientierte regionale Wasserscheide ableiten (Anhang II 4). Die Flüsse im E, SE und S entwässern direkt zum Orange River, jene im N und NW jedoch nach N bzw. NW und fließen erst weit im Westen über den Molopo River dem Oranje zu.
Die Großmulde im Nordosten des Ghaap Plateaus (Takwantrog bzw. Reivilo-Vryburg-Synklinorium: BEUKES 1978) bzw. das Sedimentationsbecken des Ghaap Plateau Dolomits stellt somit rezent eine Aufwölbung dar, die mit der Griqualand-Transvaal-Achse (DU TOIT 1933 zit. in VAN EEDEN 1972) korrelierbar ist. Dies ergibt einen deutlichen Hinweis auf das rezente Beanspruchungssystem.
Weiter ist die Orientierung der Flußsegmente an den tektonischen Hauptrichtungen zu beobachten. Löst man den Lauf des Orange Rivers, des Vaal und Harts Rivers in Einzelabschnitte auf, ergeben sich deutlich Richtungsmaxima in 150° und 40° bis 50°.
Diese Richtungen werden im Norden auch vom Ga-Mogara und seinen Nebenläufen, die 150°-Richtung von den Zuflüssen des Kuruman, Matlhwaring und Moshaweng Rivers nachgezeichnet. Die Hauptfließrichtungen der letztgenannten betragen zwischen 120° und 130° bzw. 40° bis 50°.

3.1.1.5. Vegetation

a) Allgemeines

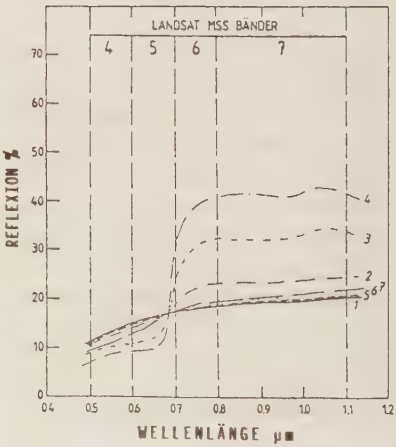
Pflanzengesellschaften sind für Gesteine und Böden oft typisch und spiegeln so Unterschiede der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung und der physikalischen Bedingungen des Untergrundes wider (ABRAMS et al. 1980).
Für die Satellitenbildauswertung ergeben sich drei Anwendungsbereiche: durch charakteristische Pflanzenvergesellschaftungen (Indikatorflora), die Vegetationsdichte und die Pflanzenmorphologie (RAINES & CANNEY 1980) sind geologische Aussagen möglich.
Die im Arbeitsgebiet auftretende Buschvegetation ist monotypisch und sehr einförmig (Tab. 3.1 Spalte 5). Sie hat geringen Einfluß auf den Verlauf der Spektralkurven von Böden und Gesteinen, da der steile Anstieg der Spektralkurve im Bereich um 0,7 µm, den grüne Vegetation verursacht, bei "trockener" Vegetation nicht

erkennbar ist.
Abb. 3.1 zeigt die Abhängigkeit der Spektralkurven von Andesit und Kalkstein bei unterschiedlich dichter und trockener Busch- bzw. grüner Grasbedeckung.
Hieraus geht deutlich hervor, daß trockene Buschbedeckung die Rückstrahlung der Oberflächen reduziert (Kalkstein: Abb. 3.1a Kurve 5 - 7) bzw. nur sehr wenig verändert (Andesit: Abb. 3.1b,, Kurve 5 - 7). Sie beeinflußt jedoch nicht den Verlauf der Reflexionskurve. Diese Situation ist im Arbeitsgebiet weitgehend gegeben.
Vollkommen anders stellt sich die Situation dagegen bei frischer Vegetation dar. Intensive grüne Grasbedeckung führt zu einer Angleichung der Reflexionsspektren von Andesit und Kalkstein (Abb. 3.1 a + b, Kurve 2 - 4) an die typischen Vegetationsspektren mit hoher Rückstrahlung im IR-Bereich (s. Anhang IV 1.3, Abb. 1c).



1 Kalkstein
2 10%
3 30%
4 50%
mit grüner Grasbedeckung
5 30%
6 60%
7 80%
mit trockener Buschbedeckung

Abb. 3.1 a:



1 Andesit
2 10%
3 30%
4 50%
mit grüner Grasbedeckung
5 30%
6 60%
7 80%
mit trockener Buschbedeckung

Abb. 3.1 b:

Reflexionskurven von Kalkstein (a) und Andesit (b) mit unterschiedlicher Vegetationsbedeckung nach Jet Propulsion Laboratory (JPL) und Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (zit. in ABRAMS & SIEGAL 1980).

Intensive Vegetation findet sich im Arbeitsgebiet nur an Flußläufen, fast ausschließlich in Bereichen, die intensiv künstlich bewässert werden (irrigation schemes), wie am Harts und Vaal River im Osten, am Orange River im Westen und am Oberlauf des Kuruman Rivers.

b) Saisonaler Einfluß

Der saisonale Einfluß der Vegetation zeigt sich in der Gegenüberstellung von multitemporalen MSS-Aufnahmen. Über der am Höhepunkt der Sommerregenzeit aufgezeichneten Landsat-Szene (07.12.1975) (Anhang I 2) liegt im Vergleich zu den Aufnahmen vom 13./14.09.1972 (Anhang I 1) ein leichter Vegetationsschleier (magenta). Dieser maskiert die spektralen Unterschiede der verschiedenen Oberflächen. Ton- und Farbdifferenzen der unterschiedlichen stratigraphischen Glieder werden nivelliert und die Interpretation photogeologischer Einheiten wird erschwert.
Dementsprechend eignet sich die Frühjahrsaufnahme bzw. jene aus dem in diesem Bereich trockenen Sommer 1973 (Anhang I 3) weitaus besser zur Differenzierung lithologischer Einheiten und damit zur geologischen Kartierung.
Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von GROOTENBOER et al. (1973, zit. in VILJOEN & VILJOEN 1975) aus dem Transvaal, welche regionalspezifischen Charakter haben und nicht ohne Prüfung auf andere Bereiche übertragen werden dürfen, wie es vielfach in der Literatur getan wird (SABINS 1978, ABRAMS et al. 1980).

c) Beschreibung von Teilbereichen

Deutlich ist im Gelände eine Abnahme der Vegetationsdichte von Ost nach West und Nord nach Süd erkennbar, was - mit Einschränkungen - auch im Satellitenbild nachvollziehbar ist.
Die Abb. 3.2 a - f zeigen eine Auswahl typischer Vegetationsformen aus repräsentativen stratigraphischen Einheiten. Die Aufnahmen stammen aus der Regenzeit (Winter 1980/81) bzw. dem Übergang zur Trockenzeit im Herbst (Frühjahr 1981).
Auf dem Ghaap Plateau wechseln weite Grasflächen mit baumbestandenen Ebenen. Die Bäume, hauptsächlich Vaalbüsche, die hier mehrere Meter Höhe erreichen, gruppieren sich zu kleinen lockeren Wäldchen. Der Baumbestand nimmt nach Westen ab, und ein weites prärieartiges Flachland breitet sich aus (Abb. 3.2 a + b).
Die Dolomite auf dem Maremane Dom sind dicht mit niederen Dornbüschen bedeckt. Dahingegen sind die Blinkklip Hills nahezu vegetationsfrei und höchstens mit "Haakdoringbüschen" (Accacia detinens) bewachsen, ebenso die Gamagara Serien (Abb. 3.2 c). Albedo und Farbe weisen auf geringe Reflexion, sowohl in Kanal 4 als auch in Kanal 7, und damit auf geringe Vegetation hin.
Zahlreiche Gangsysteme auf dem Ghaap Plateau sind durch punktuell ungewöhnlich hohes Reflexionsvermögen im MSS-Band 7 (Albedoklasse 1) bzw. durch geringe Reflexion im MSS-Band 4 (Albedoklasse 5) und durch intensive Rotfärbung im CIR-Composit charakterisiert.

Abb. 3.2 a:
Ghaap Plateau mit Wald aus Vaalbuschbäumen (Tarchonatus camphoratus) mit lockerem Grasbewuchs und Kalk- und Dolomitschutt.

Abb. 3.2 b:
Ghaap Plateau und Kuruman Hills mit dichter Grasbedekkung (Buschmanngras) und niederen Dornbüschen.

Abb. 3.2 c:
Maremane Dom vom Ga-Mogara Rand aus gesehen; Blickrichtung SE; rechts im Hintergrund die Mn-Lagerstätte Lohatlha, Bildmitte und links die Klipfontein Hills; schütterer Grasbewuchs mit niederen Dornbüschen ("Haakdooring" Acacia detinens) rechts Farm- und Beweidungsgrenze (normaler Bewuchs gegen überweidete Flächen).

Abb. 3.2 d:
Typische Vegetationsform im Bereich Koegas (Asbestos Hills Banded Ironstone und Koegas Jaspilite Formationen) mit minimaler Grasnarbe und schütterem Dornbuschbewuchs; vereinzelte Köcherbäume (Aloe dichotoma) zwischen gebänderten Eisensteinklippen.

Abb. 3.2 e:
Ödland in den Langebergen bei der Farm Langklof nordwestl. Olifantshoek; rudimentäre Grasnarbe, weitständige niedere Dornbüsche und einzel stehende Bäumchen; im Bereich der Farm (dichter Baumbestand) wird bewässert.

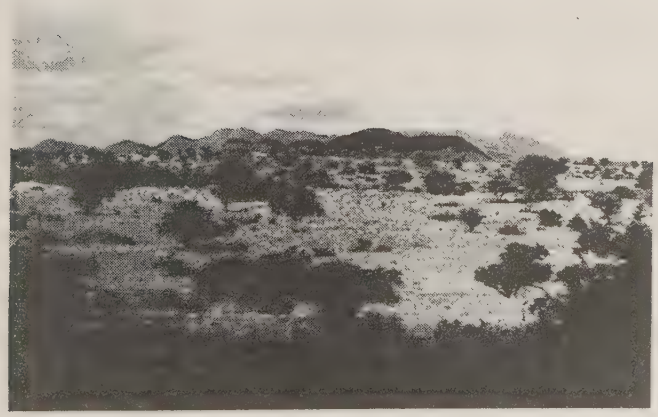


Abb. 3.2 f:
Savanne ('Parklandschaft') in der Kalahari nördl. der Korannaberge (im Hintergrund) bei Sonstral. Dichter Grasbewuchs, Dornbüsche und hohe Akazienbäume (meist Acacia karoo und A. giraffae. Quer zur Blickrichtung verlaufen Longitudinaldünen (hellere Steifen).

Die Gänge stellen ausgezeichnete Aquifers dar, was zu Wasseraustritten an der Oberfläche und zu dichter Vegetation führt. Die lineare Aneinanderreihung solcher "Brunnenpunkte" erleichtert die Kartierung der Gangsysteme im Satellitenbild und die Abgrenzung zu anderen Linearen z.B. Straßen.
Die Abnahme der Vegetation von Nord nach Süd wird vor allem in den Asbestos Hills Banded Ironstone und Koegas Formationen sichtbar (Abb. 3.2 b + d und 6.16). Der Infrarotkanal (MSS-Band 7) weist im Norden einen augenfällig höheren Reflexionsgrad auf als im Süden. Die Farbe im CIR-Bild wechselt von rotbraunen zu oliven bis schwarzen Farbtönen. Das Satellitenbild spiegelt hiermit im Süden direkt die spektralen Signaturen der Banded Ironstones wider, welche nur an sonnenexponierten Stellen hohe Reflexion (Glanzeffekte) zeigen.
Die weiten welligen Flächen der Ongeluk Laven sind fast ausschließlich von Grasvegetation bedeckt. Nur in den Randbereichen mit verstellten Ongeluklagen kennzeichnen dichte Buschreihen die "Schichtköpfe". Dieses Phänomen ist in den Satellitenbildern bei großen Vergrößerungen noch zu erkennen.
Der für den Bereich des Ghaap Plateaus beschriebene Zusammenhang zwischen Gangsystemen und Grundwasserbewegung und der daraus resultierenden dichteren Vegetation gilt gleichermaßen für Gangsysteme in der Ongeluk Andesit Formation.
Die spektralen Signaturen in den Koranna- und Langebergen weisen auf ein nahezu vegetationsloses Ödland hin, ausgenommen die mit Sand gefüllten Talungen, in denen relativ dichter Gras- und Dornbuschbewuchs gedeiht. Der Geländebefund bestätigt dieses Ergebnis (Abb. 3.2 e).
Die Kalahari im Norden besitzt parkähnlichen Charakter (Dornbuschsteppe). Dichte Grasvegetation und einzelstehende, weitausladende Akazien kennzeichnen ein bevorzugtes Weideland (Abb. 3.2 f). Jedoch herrschen auch hier die spektralen Signaturen der Kalahari-Sande vor. Deutlich sind auch die Beweidungsgrenzen einzelner Farmen zu erkennen.

3.1.2. Oberflächendifferenzierung mit Ratiobild und Color-Ratio-Composit (CRC)

Die Ratioabbildungen der Frühjahrs- und Sommeraufnahmen und das Color-Ratio-Composit (CRC) vom Dezember 1975 (Anhang I 6, 7 + 5) stellen nicht nur eine Ergänzung zu den einzelnen Spektralauszügen und zum Falschfarbenbild (CIR) dar, sondern bieten, wie im folgenden ausführlich dargestellt, die Möglichkeit für eine weitgehende Differenzierung im Satellitenbild.

Tabelle 3.2 zeigt eine Zusammenstellung verschiedener Gesteine und Oberflächen allgemein, die mit Hilfe der Ratiobilder und des Color-Ratio-Composites (CRC) aufgrund ihres Spektralverhaltens z.T. absolut identifiziert werden, bzw. eindeutig getrennt werden konnten.

SPEKTRALE DIFFERENZIERUNG VERSCHIEDENER OBERFLÄCHEN DES ARBEITSGEBIETES MIT RATIODARSTELLUNGEN DER EINZELNEN SPEKTRALKANÄLE UND DES COLOR RATIO COMPOSITS (CRC)

	A	B	C	D	E	F	G		H	I
	OBERFLÄCHE	RATIO 4/5	RATIO 5/6	RATIO 6/7	RATIO 5/7	RATIO 4/7	REFLEXIONSSPEKTRUM MSS 4 5 6 7		FARBE CRC	FARBE CIR
1	Maremane Dom Westgürtel	4 > 5	5 > 6	6 < 7	5 > 7		a)	Mn	rot	dkl.braun
		4 ≫ 5	5 ~ 6	6 < 7	5 < 7	4 ≫ 7	b)			
2	Maremane Dom Ostgürtel	4 > 5	5 ~ 6	6 < 7	5 < 7		a)	Mn	rötlich gelb	dkl.braun
		4 ≫ 5	5 < 6	6 < 7	5 < 7	4 ~ 7	b)			
3	Sishen & Beeshoek	4 ≪ 5	5 < 6	6 > 7	5 ≫ 7		a)	Fe	blau	dkl.braun-oliv schwarz
		4 < 5	5 ~ 6	6 > 7	5 > 7	4 < 7	b)			
4	Kalahari-Mn-Feld Abbaubereich	4 > 5	5 ≫ 6	6 < 7	5 > 7		a)	Mn	rot rot orange	schwarz
		4 ≫ 5	5 > 6	6 ≪ 7	5 < 7	4 > 7	b)			
5	Kalahari-Mn-Feld Haldenbereich	4 < 5	5 < 6	6 > 7	5 > 7		a)	Fe	blau	weiß
		4 < 5	5 < 6	6 > 7	5 < 7	4 < 7	b)			
6	Obere Matsap Formation (Brulsand)	4 < 5	5 > 6	6 ~ 7	5 > 7		a)		oliv-blau	hell grau braun
		4 < 5	5 ~ 6	6 > 7	5 > 7	4 > 7	b)			
7	Untere Matsap Formation	4 > 5	5 < 6	6 < 7	5 < 7		a)	Veg	gelb orange	dkl.braun -oliv
		4 ≫ 5	5 < 6	6 < 7	5 < 7	4 ~ 7	b)			
8	Lucknow Formation	4 > 5	5 > 6	6 ~ 7	5 > 7		a)		grünlich	grün-turkis
		4 > 5	5 < 6	6 < 7	5 < 7	4 > 7	b)			
9	Calcrete nordwestlich Sishen	4 > 5	5 > 6	6 < 7	5 < 7		a)		orange -okker	grau braun -dkl.braun
		4 > 5	5 > 6	6 < 7	5 < 7	4 ≫ 7	b)			
10	Calcrete östlich Kuruman Hills	4 > 5	5 ~ 6	6 < 7	5 < 7		a)		orange	dkl.braun-dkl.lila
		4 > 5	5 ~ 6	6 < 7	5 < 7	4 > 7	b)			
11	Kalahari Formation (ebene Sandflächen)	4 ≪ 5	5 < 6	6 > 7	5 > 7		a)	Fe	blau-blau violett	hellgelb weißlich grünlich
		4 ≪ 5	5 < 6	6 > 7	5 > 7	4 < 7	b)			
12	Kalahari Formation (Dünen & angewehte Sande)	4 < 5	5 < 6	6 > 7	5 < 7		a)	Fe	cyan	dkl.gelb-braun gelb
		4 < 5	5 < 6	6 ~ 7	5 < 7	4 < 7	b)			
13	Ongeluk Formation westlich Maremane Dom	4 < 5	5 > 6	6 ~ 7	5 > 7		a)	Fe	blau-bläulich lila	gelb grün
		4 ≪ 5	5 < 6	6 > 7	5 > 7	4 < 7	b)			
14	Ongeluk Formation östlich Hotazel	4 < 5	5 > 6	6 ~ 7	5 > 7		a)	Fe	bläulich lila	gelblich grün
		4 < 5	5 < 6	6 > 7	5 ~ 7	4 < 7	b)			
15	grüne (gesunde) Vegetation	4 ≫ 5	5 ≪ 6	6 < 7	5 ≪ 7		a)	Veg	gelb	rot
		4 > 5	5 < 6	6 < 7	5 < 7	4 < 7	b)			
16	gestreßte Vegetation	4 ~ 5	5 < 6	6 ~ 7	5 < 7		a)		gelblich grün - grün	altrosa-lila Rotschleier
		4 ~ 5	5 < 6	6 ~ 7	5 < 7	4 < 7	b)			
17	überweidete Grasflächen	4 < 5	5 > 6	6 < 7	5 > 7		a)		grau grün magenta dkl.violett	weißlich grau braun

Tab. 3.2:
Differenzierung verschiedener Oberflächen des Arbeitsgebietes durch ihr Spektralverhalten im Color-Ratio-Composit (CRC) und mit einfachen Ratioabbildungen. Landsat Daten vom 07.12.1975 (a) und 14.09.1972 (b).

Ganz besonders eigneten sich diese Verarbeitungen zur Kartierung von Bereichen mit eisen- und manganführenden Gesteinen. Im CIR-Bild und in den MSS-Spektralauszügen zeigen alle Eisen- und Manganabbaue dunkelbraune bis schwarze Farbtöne und niedrige Reflexion in allen Spektralkanälen. Mit Hilfe der Ratioabbildung lassen sich aber deutliche Unterschiede in den Spektralkurven erkennen (Tab. 3.2 Zeile 1 - 5), was im CRC durch rote bzw. blaue Farbtöne gut sichtbar ist. Die Verteilung dieser farblich abgegrenzten Bereiche ist in Abb. 3.3, einer Skizze der Eisen-Mangan-Abbaue im Kalahari-Mangan-Feld und auf dem Maremane Dom dargestellt.

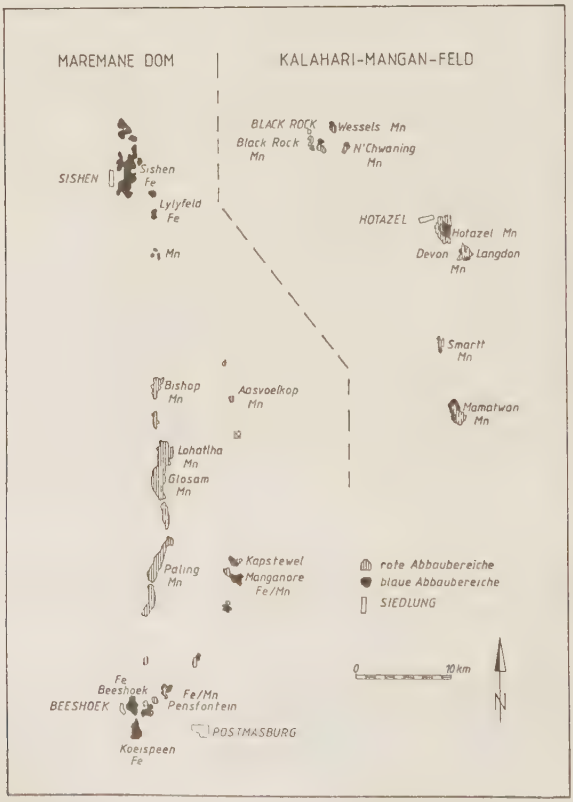


Abb. 3.3: Darstellung von Farbunterschieden der Eisen- und Manganvorkommen im Kalahari-Mangan-Feld und auf dem Maremane Dom im Color-Ratio-Composit (CRC).
(Die Anordnung der beiden Auswertebereiche zueinander entspricht nicht der geographischen Lage.)

Danach ergibt sich eine eindeutige Trennung von Lagerstätten mit bevorzugtem Eisenabbau (Sishen und Beeshoek = gemischter Vererzungstyp: Tab. 3.2, Zeile 3) von solchen mit vorwiegend Manganabbau (Kalahari-Mangan-Feld und Westgürtelvererzung: Tab. 3.2, Zeile 1, 2 und 4). Das Reflexionsspektrum aus dem Bereich der Lagerstätte Sishen (Tab. 3.2, Zeile 3) zeigt den typischen Verlauf des Hämatitspektrums (Anhang IV 1.3., Abb. 1b) mit geringer Reflexion in MSS 4, Anstieg der Reflexion bis MSS 6 und Absorptionsband in MSS 7. Die Reflexionsspektren der Manganabbaue (Tab. 3.2, Zeile 1, 2 und 4) dagegen verlaufen exakt entgegengesetzt (MSS 4 besitzt den höchsten, MSS 6 den niedrigsten Reflexionswert). Die Farbsignatur von Pensfontein läßt auf bevorzugten Mangan- und untergeordneten Eisenabbau, jene von Manganore auf hauptsächlichen Eisenabbau schließen. Der Geländebefund bestätigt diese Annahmen.
In den "Rotbereichen" des Kalahari-Mangan-Feldes läßt sich weiter zwischen Abbau und Aufbereitung (rot-orange gegenüber intensiv rot) differenzieren. Die teilweise auftretende Blaufärbung der Halden zeigt die Lagerung von Eisenoxid-reichem Abraum (Banded Iron Stones der Voelwater Formation und Kalaharisande) an.
Die Haldenbereiche der Tagebaue Mamatwan und Hotazel sind erheblich weitläufiger als die der Gruben Black Rock, N'chwaning und Wessels, was seine Gründe in der Untertage-Abbautechnik, die in den letzgenannten angewendet wird, haben dürfte.
Die für die Kartierung wichtige Unterscheidung zwischen der Eisenoxid-führenden Kalaharisandbedeckung und Kalkkrusten (s. Kap. 3.1.1.1.: Identifizierung der Ongeluk Andesite) ist ebenfalls mit Hilfe der Ratioabbildungen sehr erleichtert. Hier stellen sich die äolischen Kalaharisande als intensiv cyan bis blau und blauviolett gefärbt im Gegensatz zu den ocker, orange und rötlichbraunen Kalkkrusten dar.
Neben den rein blauen und blauvioletten Farben der weiten ebenen Kalaharisandflächen zeigen Sanddünen und in Hangkehlen angewehte Sande infolge der unterschiedlichen Exposition der reflektierenden Flächen helle Cyantöne.
Eine Differenzierung der Matsap Formation, welche sich im Falschfarbenbild (CIR) durch leichte Farbunterschiede andeutet, wird durch die Ratioverarbeitungen verbessert.
Vergleicht man die Spektralkurven der oberen und unteren Matsap Formation miteinander (Tab. 3.2, Zeile 6 und 7), erkennt man, daß die Reflexionsspektren dieser beiden Einheiten diametral verlaufen. Während die Spektralkurve der unteren Matsap Glieder stark jener von Vegetation angeglichen ist und das CRC einen leichten Vegetationsschleier erkennen läßt, bilden die oberen Matsap-Gesteine eher die Eisen-Spektralkurve nach. Im Falschfarben-Ratiobild herrschen Oliv- bis Blautöne vor. Hierin drückt sich die leichte Purpur- bis Rotfärbung der Matsap Quarzite (MAAK 1958) aus, die im Westen nicht durch Vegetation maskiert ist und hier offensichtlich stärker zum Ausdruck kommt.
Schließlich läßt sich noch bis zu einem gewissen Grade die Dichte und das Verhältnis von gesunder zu gestreßter Vegetation darstellen (Tab. 3.2, Zeile 15, 16 und 17).
So erhält man ein weiteres Kriterium zur exakteren Gesteinsan-

sprache durch die Unterscheidung von gesteins- und bewuchsabhängigem Reflexionsverhalten.
Die Vegetationsspektren (Anhang IV 1.3, Abb. 1 c) sind durch die Chlorophyllabsorption zwischen 0,6 und 0,7 µm, den steilen Anstieg bei 0,7 µm und die starke Reflexion im nahen Infrarot (NIR) unverwechselbar. Besonders deutlich werden diese Merkmale im Ratio 4/5 (MSS 4 > MSS 5) und 5/6 bzw. 6/7 (MSS 5 < MSS 6 bzw. MSS 6 < MSS 7) (Tab. 3.2, Zeile 15).
Im Vergleich zu gesunder Vegetation zeigt gestreßter Bewuchs deutliche Anhebung der Reflexion in MSS 5 (MSS 4 < MSS 5: Tab. 3.2, Zeile 15 und 16) und erheblich reduzierte Rückstrahlung in MSS 7 (MSS 6 = MSS 7). Bei abgestorbener Vegetation (z.B. überweidete Bereiche) (Tab. 3.2, Zeile 17) ist keinerlei Ähnlichkeit der Spektralkurve mehr mit jener von gesunder Vegetation zu erkennen.
Unabhängig vom Zustand der Vegetation ist der Verlauf ihrer Reflexionsspektren immer deutlich von dem der in Tab. 3.2 beschriebenen Gesteinsoberflächen verschieden.

3.1.3. Zusammenfassung der geologisch-lithologischen Kartierung und Vergleich mit existierenden geologischen Karten

Die geologische Karte (Anhang II 1), die im Rahmen der vorliegenden Arbeit anhand der Untersuchungen in Satelliten- und Luftbildern erstellt und im Gelände überprüft wurde, umfaßt erstmals eine differenzierte Kartierung des Gesamtbereiches der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen. Hierbei wurde die moderne stratigraphische Einteilung nach SACS (1980) verwendet. Die bislang publizierten amtlichen Geologischen Karten: Blatt 2822 (Postmasburg) und Blatt 2722 (Kuruman) (MOEN 1977 bzw. 1979) im Maßstab 1 : 250 000 decken die Mitte und den Norden des Arbeitsgebietes ab, während für den Süden und Osten entweder nur vereinzelte Teilkartierungen (BEUKES 1978, VAJNER 1974a) oder Aufnahmen aus dem Anfang unseres Jahrhunderts (ROGERS und DU TOIT 1909 und 1910) erhältlich sind. In diesem Bereich mußte also neu kartiert, bzw. vorhandene Karten überarbeitet und der modernen Stratigraphie angepaßt werden.
Die Detailgenauigkeit der vorliegenden Kartierung ist mit den vorhandenen geologischen Karten im Maßstab 1 : 250 000 und z.T. größer vergleichbar. Zwangsläufig bleibt aber - wie zu erwarten - die Möglichkeit der stratigraphischen Feindifferenzierung und deren Genauigkeit hinter einer Geländekartierung zurück. So waren die Kalksteineinschaltungen in der Ghaap Plateau Dolomit Formation (Lime Acres Glied), welche in Oudeplaas und Lime Acres abgebaut werden und in der Karte MOENs (1977) ausgewiesen sind, selten ansprechbar (Ähnlichkeit der spektralen Signaturen von Kalk und Dolomit).
Die Trennung der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation in Kuruman und Danielskuil Glied ist nur mit umfangreicher Gelände- bzw. Luftbildinformation exakt möglich. Die Grenze wird durch den

Main Marker gebildet, der im Gelände und im Luftbild gut erkennbar ist, im Satellitenbild aber lediglich durch eine unscharfe spektrale Trennlinie hervortritt.
Dagegen sind fazielle Grenzen aus der geologischen Karte VAJNERs (1974a), die im Gelände nur schwer zu erkennen sind (z.B. in der Koegas Formation), im Satellitenbild teilweise sehr deutlich.

Eine Trennung zwischen geringer Überdeckung und anstehendem Gestein aufgrund der z.T. typischen spektralen Mischsignaturen sowie zwischen Kalaharisanden und Kalkkrusten, welche im Satellitenbild möglich war, erhöhte die Genauigkeit der Kartierung gegenüber vorhandenen Karten. Daneben wurde eine Vielzahl linearer Strukturen aus den amtlichen Geologischen Karten, die nicht genauer beschrieben sind (probably Karoo Dykes?) wegen ihrer Morphologie (Positiv- oder Negativformen) und punktueller Vegetation (Ratiobild 5/6 bzw. 5/7) als Gangsysteme ausgewiesen.
Im Vergleich mit der Luftbildkartierung des Ostens des Arbeitsgebietes von BEUKES (1978) konnten bedingt durch die größere Synopsis der Landsatbilder und den spektralen Informationsgehalt der Daten (gegenüber panchromatischem Bildmaterial) einige Grenzziehungen geändert und tektonische Strukturelemente, besonders Störungslinien, neu kartiert werden.

Für den methodischen Bereich lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

1. Eine absolute Identifizierung der unterschiedlichen Gesteine ist mit Ausnahme hämatitischer Serien aufgrund der Konfiguration der Spektralkanäle des Aufnahmesystems nach der Literatur nicht möglich.

2. Infolge des ständigen Wechsels von Gesteinsserien mit gleichem Verlauf der Spektralkurven aber erheblichen Unterschieden in der Reflexionsintensität lassen sich verschiedene Gesteinseinheiten gut voneinander abgrenzen.

3. Durch eine Analyse der verschiedenen Ratiobildungen und des Color-Ratio-Composits (CRC) lassen sich Reflexionsspektren aufzeichnen, die für bestimmte Gesteine im Arbeitsgebiet typisch sind, und die sich in ihrem Verlauf (Reflexion in den einzelnen Spektralkanälen) deutlich von den gemessenen Standardspektren für ausgewählte Gesteinsarten (Anhang IV 1.3, Abb. 1) unterscheiden.
   So lassen sich halbquantitative Spektren ableiten, die in einem gewissen Rahmen eine absolute Identifizierung bestimmter Gesteine zulassen.

4. Ergebnisse der Großstrukturkartierung und Lineamentinterpretation auf der Grundlage der Landsatdaten

Im Rahmen der Großstrukturkartierung wurden neben großräumigen Störungen auch weit aushaltende Gangsysteme, Großfaltenachsen sowie Becken- und Domstrukturen ermittelt.
Eine zusätzliche detaillierte Aufnahme von Lineamenten läßt Aussagen über das regionale Kluftmuster zu (ADLER 1981, BODECHTEL & NITHACK 1974, BODECHTEL & MÜNZER 1978, HEMMERICH 1979, JASKOLLA 1978, KRAUSE 1981 und SMOLKA 1977).
Durch eine Zusammenschau der genannten Charakteristika konnte der tektonische Baustil des Arbeitsgebietes in der Nordkap Provinz aufgezeigt und in einer tektonischen Karte (Anhang II 2) dargestellt werden.
Die daraus ermittelten verschiedenen Richtungssysteme werden in Kapitel 4.1. kurz aufgeführt, um ein schnelleres Einordnen der in den folgenden Kapiteln beschriebenen wichtigsten Strukturen und deren Richtungsverlaufs zu ermöglichen.
In Kapitel 4.6. erfolgt dann eine Zuordnung der tektonischen Phänomene zu den einzelnen Beanspruchungssystemen und eine Übersicht über deren zeitliche Abfolge.

4.1. Ausgliederung von drei Beanspruchungssystemen

Die kartierten tektonischen Elemente ermöglichten eine Aufstellung von 3 Richtungsystemen: B1, B2 und B3 , welche durch unterschiedliche Beanspruchungsrichtungen angelegt wurden. Die Indizierung erfolgte nach der Einengungsrichtung und verläuft im Uhrzeigersinn. Die Einteilung in B1-, B2- und B3- Richtung gibt also keinen Hinweis auf die Alterstellung der Systeme.

B1-Richtungssystem: N-S-Kompression und E-W-Dilatation
B2-Richtungssystem: E-W-Kompression und N-S-Dilatation
B3-Richtungssystem: NW-SE-Kompression und NE-SW-Dilatation

4.2. Großstrukturkartierung

In der Karte Anhang II 2 sind alle kartierten Großstrukturen der Nördlichen Kapprovinz dargestellt. Die Abbildung weist 6 Hauptlineamentrichtungen aus:

1. NW-SE bis NNW-SSE

   Hierzu gehören die beherrschenden Strukturen des Arbeitsgebietes, die ca. NW- bis NNW-streichenden Großlineamente, die auch in der Literatur unter den Namen Brakbos-, Doringberg-, Brinkspan-, Strydenberg-, Griquatown-, Campbell-, Danielskuil-

und Kuruman-Großlineament (PRETORIUS 1979) bekannt sind. Die längste dieser Großstrukturen erstreckt sich über mehr als 200 km und verläuft nahezu gradlinig. Die in der tektonischen Karte (Anhang II 2) neu hinzugefügten nördlichen Großlineamente (9, 10 und 11) wurden mit den Lokalnamen Reivilo-, Vaal- und Vryburg-Lineament belegt.
Erkennbar sind diese Großlineamente durch tiefe Gebirgseinschnitte, Verlauf von Flußtälern, tonale Effekte und durch Aneinanderreihung von topographischen Elementen.
Die Strukturen besitzen abschiebenden Charakter und/oder stellen Blattverschiebungen dar mit durchgängig dextralem Verschiebungssinn (PRETORIUS 1979), deutlich erkennbar am Versatz geologischer Einheiten, Verbiegung und Schleppung von Gebirgskörpern. Auch die Trendlinien positiver und negativer Schwerewerte (Bouguer-Schwere aus PRETORIUS 1979) deuten auf eine Verschiebung von Krustenteilen an Blattverschiebungen hin.
Deutlich hervorgehoben wird diese Richtung durch die SW-Begrenzung des Kapvaal-Kratons entlang der Brakbos-Störung (PRETORIUS 1979) bzw. der Doringberg-Lineamentzone (VAJNER 1974a). Der Bewegungssinn an dieser Zone ist ebenfalls rechtshändig und der Minimalversatz erreicht nach VAJNER (1974b) mindestens 50 km.
VILJOEN & VILJOEN (1975) beschreiben auch aus dem südwestlich liegenden Namaqualand-Natal-Mobile-Belt eine im Satellitenbild sichtbare ständige Wiederholung NW-SE- bis NNW-SSE-streichender dextraler Blattverschiebungen.
Die nordöstlichsten Lineamente werden hier als Vryburg-Störungen bezeichnet. Sie gehören offensichtlich zu einem System von Verwerfungen, die in Verlängerung der NW-SE-Achse des Ganyesa Doms eine Horststruktur mit Basementgestein ausbildeten.
Eine Vielzahl kleinerer Lineamente dieser Streichrichtung prägen auch den Maremane Dom und begrenzen ihn nach Norden (Anhang II 2). Das Satellitenbild macht deutlich, daß entgegen früheren Annahmen (BEUKES 1983, P. R. DE VILLIERS 1970, ROGERS 1906 und 1909, VISSER 1944) der Gamagararand zwischen Sishen und Beeshoek stark durch diese Störungen deformiert wurde (Abb. 4.1). Im Bereich Sishen waren sie für die Eisenlagerstättenbildung von besonderer Bedeutung (s. Kap. 6.2.).
Lineamente dieser Richtung schneiden im Südosten den Westast der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation und sind im Nordwestast dieser Formation als streichende Verwerfung zu erkennen.
Auch im Norden des Arbeitsgebietes, im Kalahari-Mangan-Feld stellen Brüche in NW-SE-Richtung offensichtlich die beherrschenden Strukturen dar. Nach P. R. DE VILLIERS (1970) erstreckt sich die Ostbegrenzung der Banded Iron Stones der Voelwater Formation, welchen die Mangan-führenden Schichten zwischengelagert sind, unter ihrer Kalahari-Bedeckung annähernd parallel dieser Richtung.
Nicht zuletzt verläuft das Tal der karbonischen Dwykavereisung (ebenfalls im Kalahari-Mangan-Feld und nahe Sishen) mit mächtigen Tilliten NW-SE (J. DE VILLIERS 1960 und VAN SCHALKWYK & BEUKES 1986).

Abb. 4.1: NW-SE- bis NNW-SSE-streichende Lineamente auf dem Maremane Dom (Landsataufnahme vom 14.09.1972, MSS 7).

2. NNE-SSW

Als zweite Hauptgruppe sind Lineamente in NNE-SSW-Richtung anzusprechen, die gegenüber der ersten Lineamentschar jedoch untergeordnet auftreten, aber im Escarpment, dem Ostabbruch

des Ghaap Plateaus, erhebliche Störungen aufbauen (Anhang II 2).
Tiefe Einschnitte in den Lange- und Korannabergen, im besonderen die Eselsbergstörung (VAJNER 1974a, b) auch 'Boegoeberg shear' genannt (COWARD & POTGIETER 1982) sowie kleinere Störungen (Abschiebungen) in den Kuruman Hills repräsentieren diese Richtung.

3. WSW - ENE und

4. WNW - ESE bis NW - SE

Dieses Lineamentpaar ist durch weitreichende tonale Unterschiede und markante Einschnitte in den südlichen Bereichen der Griqualand West Sequenz charakterisiert.
Querstörungen in der Asbestos Hills Banded Iron Stone Formation unterstreichen diese Bruchrichtungen. Hierbei ist die WNW-ESE-Richtung vor allem im Süden und Osten stärker ausgeprägt.
Im Gewässernetz (Anhang II 4) sind die beiden Richtungen ebenfalls gut repräsentiert.

5. N - S

N-S-verlaufende Grabenbrüche und Blattverschiebungen schneiden bevorzugt die Kuruman Hills in spitzem Winkel. In den Asbestos Hills bei Danielskuil gelegentlich auftretende streichende Störungen folgen dieser Richtung.
Die Karststrukturen auf dem Maremane Dom erstrecken sich im Zentralbereich $\pm$ N-S und eine Abschiebungsbahn im Sishener Erzabbau verläuft parallel dazu.

6. E - W

Die E-W-Richtung ist bis auf die häufig als Pässe genutzten Einschnitte in den Langebergen in der Großlineamentauswertung wenig vertreten.

4.3. Gangsysteme

Die Gangsysteme in der nördlichen Kapprovinz verlaufen ebenfalls in bevorzugten Richtungen:
Am stärksten sind die N-S- bis N 10°E-streichenden, eng gestaffelten basischen Gänge entwickelt. Sie beherrschen vor allem das Bild auf dem Maremane Dom (Anhang II 5) und auf dem Ghaap Plateau und zeigen mit wenigen Ausnahmen große Richtungskonstanz über weite Strecken (bis zu 200 km). Eine Vielzahl paralleler Brüche

in den Ongeluk Laven südlich Postmasburg, die mit basischem Gangmaterial verfüllt sind, verlaufen ebenfalls in dieser Richtung.
E-W-gerichtete Gänge sind ausschließlich in geringer Anzahl im NE des Ghaap Plateaus ausgebildet.
Weiter sind Gangsysteme in NE-SW-Richtung westlich des Maremane Doms, in ENE-WSW-Richtung vor allem im Norden zwischen Kalahari Mangan-Feld und dem Ghaap Plateau (Nordast der Kuruman Hills) zu beobachten.
Langaushaltende WNW-ESE- bis NW-SE-streichende Gänge treten im Nordosten und im Ongeluk-Witwater-Synklinorium auf (auf dem Ghaap Plateau bis ca. 100 km Erstreckung).
Die Gradlinigkeit der Gangsysteme (im Satellitenbild) erweist sich im Luftbild häufig als en échelon Anordnung von Teilabschnitten der Gänge, die von BEUKES (1973) vom Ghaap Plateau beschrieben wurde. Die Gänge biegen an ihrem Ende um, laufen aus, und neue, mit basischem Material verfüllte Brüche setzen, gestaffelt, in der generellen Streichrichtung wieder ein. Zusätzlich sind aber auch mit dioritischem Material verfüllte Fiederspalten zu beobachten, die durch Schichtverbiegungen, Versätze und Schleppungen Auskunft über Bewegungsrichtungen an Diagonalverschiebungen geben.

4.3.1. Problematik der Gangsysteme

Das Auftreten und der Richtungsverlauf von Gängen könnten hervorragende Hinweise auf die Wirksamkeit bestimmter Beanspruchungspläne zu festgelegten Zeiten geben. Hierzu sind aber genaue Kenntnisse über das Alter der aufgedrungenen Ganggesteine notwendig.
Altersdatierungen der Gänge des Arbeitsgebietes (Ausnahme: Kimberlitintrusionen) stehen aber leider noch aus. In der Literatur sind nur Vermutungen bekannt, exakte Fakten fehlen.
Meist werden die Gänge in "wahrscheinlich" Karoo Alter (Jura bis Kreide) eingestuft (MOEN 1977), wobei eine Kartierung unterschiedlicher Gänge bislang unterblieben ist. BEUKES (1978) vermutet für die "allergrößte Mehrheit" der Gänge ein Alter wie es die Laven der Ongeluk und Hartley Andesit Formation aufweisen. Lediglich wenige schneiden nach seinen Ausführungen die älteren Karooschichten und besitzen demnach Jura-Kreide-Alter.
Nach VISSER (1944) lassen sich unterschiedliche Gangtypen trennen. Im Bereich östlich der Olifantshoek Sequenz treten Gangsysteme in allen Richtungen auf, die starke Magnetisierung aufweisen. Im westlichen Faltengürtel sind Gänge dieses Typs kaum vertreten. Sie verlaufen hier nahezu senkrecht zur Faltung. Wegen ihrer Ähnlichkeit mit Karoo Doleriten werden sie diesen zugeordnet und in post Karoo Zeit eingestuft.
Die zweite Gruppe von Gängen verläuft im westlichen Faltengürtel parallel oder senkrecht zum Schichtstreichen und kann im Gegensatz zur ersten Gruppe nicht über magnetische Anomalien erfaßt

werden. Sie sind nach VISSER (1944) in die oberen Matsap Lagen intrudiert. Danach ergibt sich ihr Alter mit post Matsap, prä Karoo. Entsprechend weiterer Literatur (BOTHA & HODGSON 1976, HAUGHTON 1969, TRUSHWELL 1977, WALKER & POLDERVAART 1949) kann aber angenommen werden, daß eine große Zahl der Doleritgänge Jura- (190 - 150 my, SACS 1980) bis Kreidealter (200 - 100 my, VAIL 1970 bzw. 140 - 80 my, TRUSWELL 1977, WALKER & POLDERVAART 1949) besitzen.
Somit können die häufig vorhandenen Gangsysteme nur sehr eingeschränkt als Zeitmarken verwendet werden.

4.4. Faltenstrukturen

Im Mosaik der Landsat-Daten lassen sich sowohl unterschiedliche Faltungstypen ansprechen als auch die verschiedenen B-Achsenrichtungen kartieren. Die in Anhang II 2 dargestellten Faltenbilder zeigen ein Muster mehrfacher Deformation mit unterschiedlicher Intensität. Es ist klar zu erkennen, daß die Faltenstrukturen nicht ausschließlich durch W-E-Kompression entstanden sein können, wie dies VISSER (1944) und andere vermuten, sondern verschiedenen Faltungszyklen zuzuordnen sind (Kap. 4.6.).
Lokale Faltenachsen, in der tektonischen Karte in feiner Signatur ausgeführt, lassen sich durch Kartierung von Ausbißlinien sehr gut erfassen und ihre Abtauchrichtung daraus ableiten. Bei zu geringer Auflösung der Satellitenbilder halfen Luftbilder zur Festlegung des Schichtfallens und damit zur Identifizierung von Sattel- und Muldenachsen (s. Abb. 6.22, 6.25, 6.26).
Bereits vor Beginn der Sedimentation der Griqualand West Sequenz kam es zu einer leichten Wellung mit NE-SW-Achse im Arbeitsgebiet, welche auch die Ausbildung des Takwan Troges (BEUKES 1978) und der Griqualand-Transvaal-Achse bewirkte (DU TOIT 1933, zit. in VAN EEDEN 1972). So folgte auch die Lage des Sedimentationsbeckens der liegenden Campbell Gruppe dieser Richtung.
Auf dem Ghaap Plateau fallen die Kalke und Dolomite rezent fast einheitlich leicht in westnordwestlicher Richtung und nur im Nordosten sind durch Schichtköpfe NNE-SSW-streichende Sattel- und Muldenachsen kartierbar.
Herausragend ist die zentrale Struktur des Maremane Doms, die in Bögen von den Ongeluk-Witwater- und Dimoten-Synklinorien umgeben ist. Hier stimmt die lokale Faltungsrichtung mit der regionalen überein, abgesehen von Spezialfalten, die im Satellitenbild nicht kartierbar sind.
Im Bereich Koegas dagegen sind deutlich NE-SW-gerichtete Großfalten, die mit der Spezialsituation der Koegas Sedimente zusammenhängen (Kap. 6.6.), und ±N-S-gerichtete Spezialfalten zu erkennen. Aus der Abtauchrichtung dieser unterschiedlichen B-Achsen läßt sich ein weiteres, ungefähr E-W-orientiertes Faltensystem ableiten.
Die Olifantshoek Sequenz mit ihren steil stehenden Schichten und wechselweise nach N und S abtauchenden B-Achsen läßt isoklinalen

Faltenbau erkennen. Diese Faltung wird nach Osten weniger intensiv, die Serien im zentralen und östlichen Bereich fallen i.d.R. flach ein und bilden moderate, weitgespannte, offene Sattel- und Muldensysteme. Die Faltenachsen schneiden in den Langebergen die Formationsgrenzen in einem spitzen Winkel.

4.5. Lineamentinterpretation

Im Anhang II 3 sind alle in der nördlichen Kapprovinz im Bereich der Griqualand West und Olifantshoek Sequenz sowie der Kalahari Gruppe erfaßten Lineamente abgebildet. Sie besitzen wesentlich geringere Längenausdehnung als die in der tektonischen Karte (Anhang II 2) gezeigten Großstrukturen. Weiter sind in der Lineamentkarte die Richtungsrosen der Lineamentverteilungen in den verschiedenen stratigraphischen Gruppen mit Lineamentlänge (linke Seite der Lineamentrosen) und -anzahl (rechte Seite der Lineamentrosen) dargestellt.
Linke und rechte Hälfte der Rosen weisen eine hohe Übereinstimmung auf, was auf die relativ konstante mittlere Länge der Einzellineamente schließen läßt. Daraus ist ersichtlich, daß etwa gleichwertige Strukturlinien als Ausdruck von Brüchen erfaßt wurden. Unter Berücksichtigung der absoluten Anzahl der Lineamente pro Einheit ist die statistische Verteilung der Lineamente so direkt miteinander vergleichbar.
In der Lineamentkarte sind deutlich Variationen in den Lineamentdichten erkennbar. Diese sind für die tektonische Interpretation insofern von Interesse, als sie oft Unterschiede in der mechanischen Beanspruchung und der Reaktion verschiedener lithofazieller Einheiten darauf repräsentieren (LANG 1982). Eingeschränkt wird dieses Kartiermerkmal durch unterschiedliches Relief der ausgewerteten Bereiche (Bruchlinien in Gebirgen werden durch vorteilhafte Beleuchtungsbedingungen besser abgebildet) und durch kaschierende Überdeckung.
Die tertiären bis rezenten Ablagerungen der Kalahari Gruppe zeigen sehr geringe Lineamentdichten ebenso die Karbonatplattform des Ghaap Plateaus mit Ausnahme eines zentralen Gürtels, der in weitem Bogen von Bophuthatswana im Norden bis nach Campbell im Süden verläuft. Da dieser Gürtel sich mit der Verbreitung der SiO_2 -reichen Fairfield- und Lime Acres-Dolomite deckt, könnten dafür neben der geringeren Ausbildung von jungen Kalkkrusten in diesem Bereich auch noch rheologische Faktoren in Frage kommen.

Sehr hohe Lineamentdichten weisen dagegen die Banded Iron Stones der Griquatown und die andesitischen Laven der Cox Gruppe auf. Auch die Olifantshoek Sequenz hebt sich von der umgebenden Kalahari Gruppe durch eine höhere Lineamentdichte gut ab, hier u.a. bedingt durch das starke Relief.

Abb. 4.2 zeigt die statistische Verteilung der Lineamente der einzelnen lithologischen Gesteinseinheiten und deren Aufsummie-

rung über größere Bereiche bis zur Richtungsanordnung der Lineamente des Gesamtgebietes. Wie zu erwarten, spiegelt die Statistik der Lineamentauswertung im wesentlichen die Ergebnisse der Großstrukturkartierung wider. BARTHELEMY & DEMPSTER (1975), BODECHTEL & MÜNZER (1978), ROWAN & WETLAUFER (1973), SABINS (1978), SMOLKA (1977) u.a. wiesen bereits auf die hohe Korrelation zwischen Lineamenten unterschiedlicher Größenordnung hin.
Alle Systeme aus der Großstrukturkartierung sind in den Lineamentverteilungen dokumentiert. Außerordentlich dominant tritt in allen Teilbereichen die NW-SE- (150°) Richtung auf. In den Summendiagrammen der verschiedenen stratigraphischen Gruppen bildet sie das absolute Maximum und macht damit deutlich, daß Brüche in dieser Richtung das prägende Strukturelement in der nördlichen Kapprovinz darstellen und alle Serien durchsetzen. Dagegen zeigen die anderen Richtungen deutliche regionale Variationen.
Während im Osten NNE-, NE- und NW- bis NNW-streichende Lineamente dominant sind, verbreitert sich das NW-Maximum im Westen, und starke ENE- und ESE-verlaufende Maxima kommen hinzu.
So sind die E-W-, WNW-ESE- bis NW-SE- und WSW-ENE-Trends im Westen des Arbeitsgebietes am stärksten vertreten. Sie stellen in der stark N-S-verfalteten Olifantshoek Sequenz neben dem absoluten Maximum in 140° - 150° die häufigste Lineamentrichtung dar. Diese Richtungen sind eindeutig der W-E-Kompression, welche die Faltung verursachte, zuzuordnen.
Gut ausgeprägt sind hier ebenfalls NE-SW-Lineamente, wohingegen Bruchrichtungen in ±0 - 10° zwangsläufig unterrepräsentiert sind. Zum einen lassen sich steil stehende Brüche in dieser Richtung kaum von Faltenstrukturen trennen, zum anderen sind flach einfallende Überschiebungen, die während der Faltungsphase angelegt wurden, im Satellitenbild nicht erkennbar (SMOLKA 1977), da sie nicht als gradliniges Lineament in Erscheinung treten.
Gliedert man die stratigraphischen Gruppen in Nord- und Südbereiche, so wird die Zunahme des Richtungssystems B1 durch N-S-Kompression in allen Abfolgen außer in der Kalahari Gruppe nach Norden zu deutlich. Die N- bzw. NNE-Richtung stellt bei den Diagrammen aus dem Norden der Griqualand West Sequenz meist das absolute Maximum.
Bestätigt wird der wachsende B1-Einfluß auch durch die Tatsache, daß Lineamente in NE-SW-Richtung (B1-Scherrichtung) im Süden nur schwach vertreten sind.
Die Diagramme aus dem Bereich der Kalahari Gruppe (tertiär-rezent) zeigen im Süden die 10°-, 140° - 150°- (absolute Maxima) und die 40° - 50°-Richtungen. Im Norden kommen die WSW-ENE-Lineamente hinzu, die durch weitreichende tonale Großlineamente zu erkennen sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß dominante Richtungen in der Griqualand West Sequenz NW-SE und N-S bis NNE-SSW verlaufen. Daraus kann in Verbindung mit der Großstrukturkartierung (Kap. 4.2.) und den kleintektonischen Untersuchungen (Kap. 5.) der Einfluß N-S- und NW-SE-gerichteter maximaler Hauptnormalbeanspruchungen abgeleitet werden.

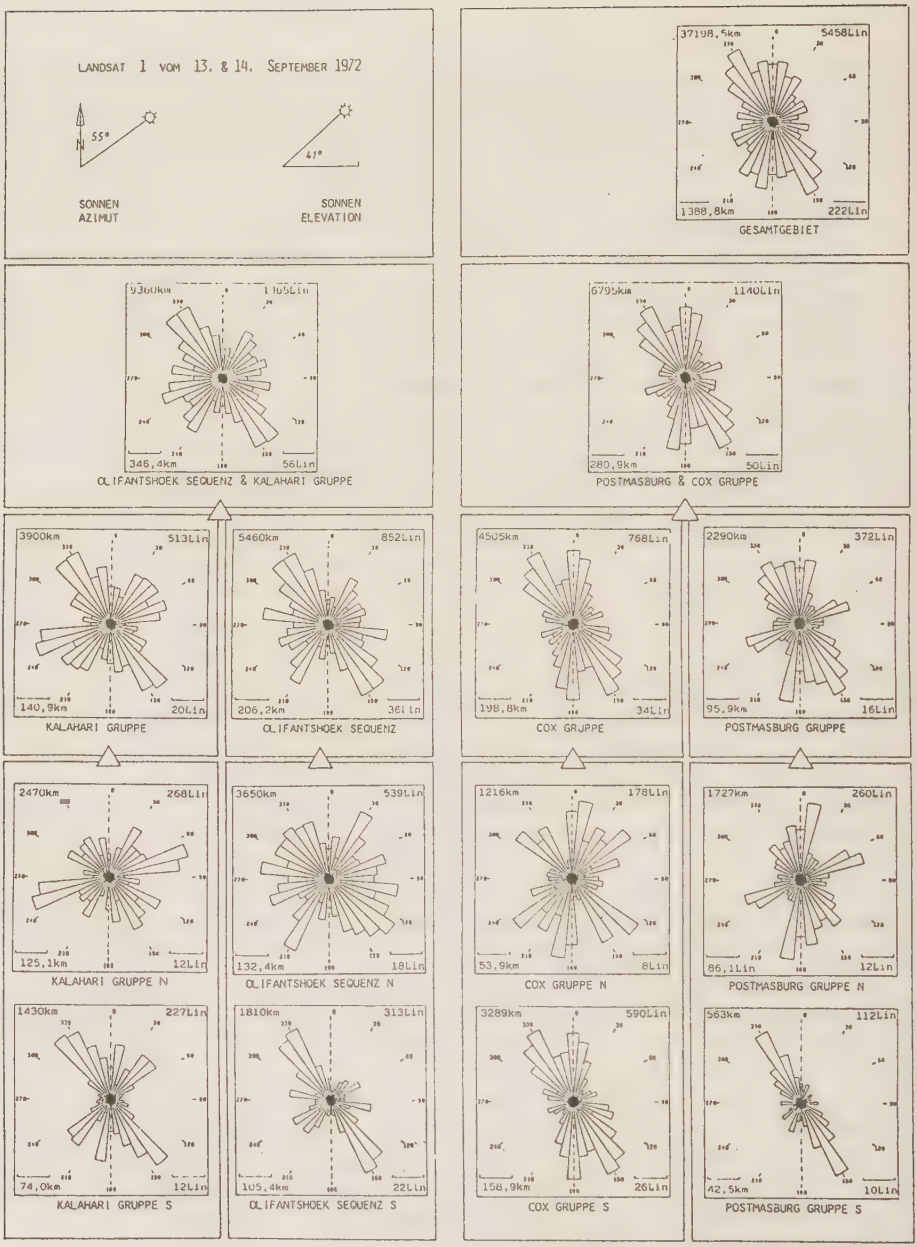
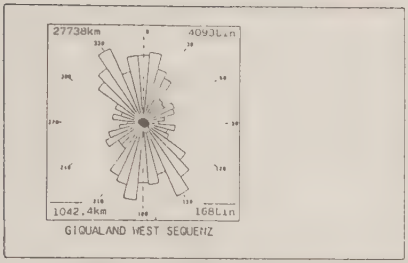


Abb.4.2: Lineamentinterpretation.



GIQUALAND WEST SEQUENZ

AUSWERTEBEREICH

CAMPBELL & GRIQUATOWN GRUPPE

GRIQUATOWN GRUPPE

CAMPBELL GRUPPE

GRIQUATOWN GRUPPE BIF N

CAMPBELL GRUPPE W

CAMPBELL GRUPPE NE

GRIQUATOWN GRUPPE KOEGAS

GRIQUATOWN GRUPPE BIF S

CAMPBELL GRUPPE SE

Deutlich verschieden stellen sich die Diagramme der Olifantshoek Sequenz und der Kalahari Gruppe dar. Hier ist neben der Bedeutung der NW-SE-Lineamente vor allem die Wirkung W-E-gerichteter Einengung erkennbar, die die Faltung der Olifantshoek Sequenz und des östlichen Vorlandes bewirkte.

4.6. Zusammenfassung und Entwicklung verschiedener Deformationspläne

Der Richtungsverlauf und die unterschiedlichen Funktionen (Faltung, Auf- und Überschiebungen, Scherbrüche, Abschiebungen, Grabenbildung und Gangsysteme) der in der tektonischen Karte (Anhang II 2) dargestellten Strukturen weisen auf 3 verschiedene Richtungssysteme hin (Abb.4.3).
Diese lassen aber nicht gleichzeitig Aussagen über die hauptsächlich wirkenden Kräfte (Einengung, Dehnung, Schwere) zu, sondern legen nur die Richtungen der Koordinatenachsen A, B und C und damit die Richtungen der Hauptnormalspannungen (HNS) fest. Dies bedeutet im besonderen Fall der Faltung Kompression in A mit der kleinsten Hauptnormalspannung in C, bei Grabenbildung dagegen aber Dehnung in B (Richtung der kleinsten HNS) und der größten HNS in Richtung der C- oder A-Achse (CLOOS 1963) (vgl. Anhang IV, Kap. 2.2.).
Die Bezeichnung der verschiedenen Richtungssysteme entspricht der Nomenklatur der kleintektonischen Auswertung (Kap. 5.; B1-, B2- und B3-System) und kann mit dieser direkt korreliert werden.
Die unterschiedlichen tektonischen Elemente, die jeweils in den entsprechenden Beanspruchungsplänen zusammengefaßt wurden, sind in Abb. 4.3 a - c dargestellt. Darin kommt klar zum Ausdruck, daß ein- und dieselbe Struktur in verschiedenen Deformationsphasen unterschiedliche Funktionen erfüllte.
Einmal angelegte Brüche werden, wie auch z.B. am Rheingraben nachgewiesen (GROHMANN 1985, ILLIES 1974), bei Neuorientierung des Streßfeldes reaktiviert (SCHMIDT-THOME 1972), und die jüngeren Bewegungen benutzen dabei entsprechend ihrer neuen Merkmale die älteren Bahnen. Dadurch werden von den späteren Deformationsphasen relativ wenige neue Brüche angelegt, sofern die alten in einem günstigen Winkel ($<90^{\circ}$) zur Deformationsachse stehen.

Ein gutes Beispiel sind hier die Großlineamente in 150°, welche im B1-System (N-S-Kompression) weitgehend als dextrale Blattverschiebungen, im B3-System (NE-SW-Dehnung) dagegen teilweise als Abschiebungen fungierten.
N-S-verlaufende Strukturen lassen sich ebenfalls diesen beiden Systemen eingliedern, indem bei E-W-Ausweitung (B1-System) Grabenbrüche und Spalten entstanden, an denen Gangmaterial aufdringen konnte, während bei Kompression in NW-SE sinistrale Verschiebungen an den steilstehenden N-S-Brüchen auftreten können.
Lediglich die Faltenstrukturen sind eindeutig. Durch Einengung ausgelöste Faltung ist mit den B1- und B2-Systemen korrelierbar.

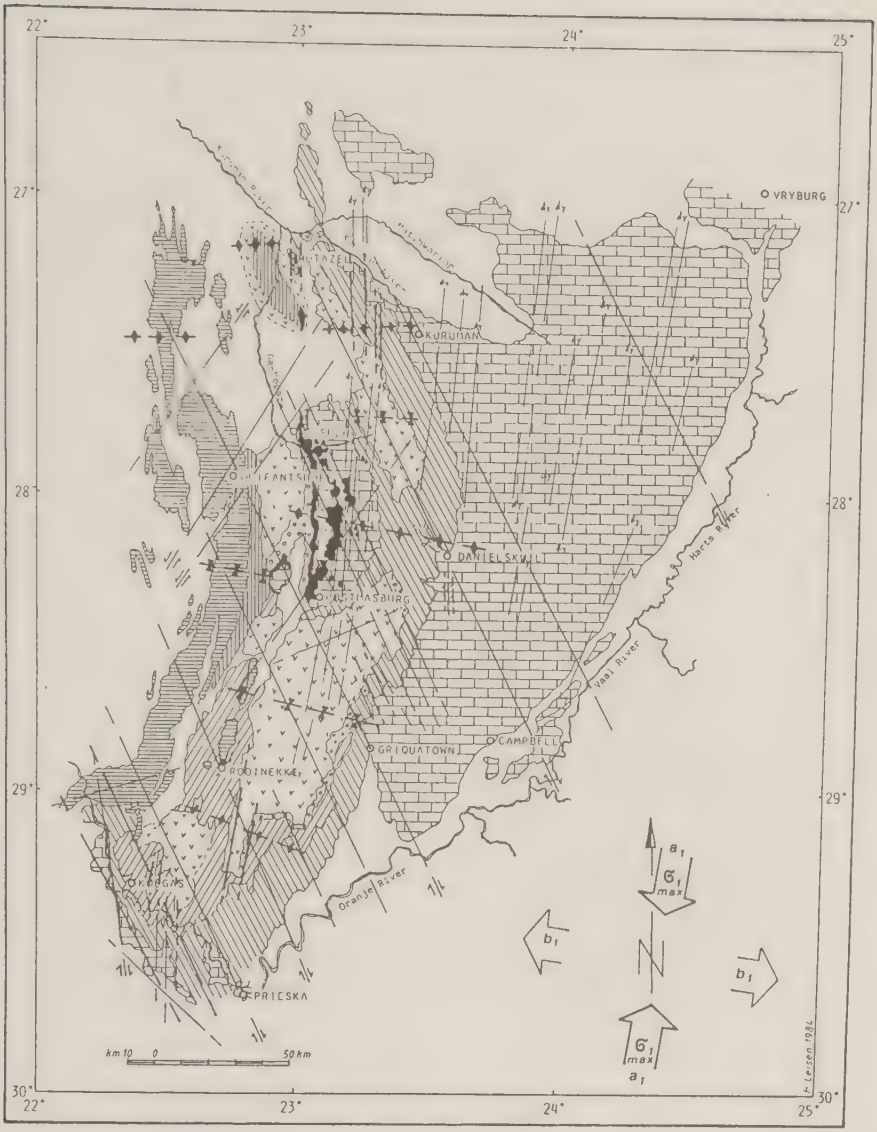
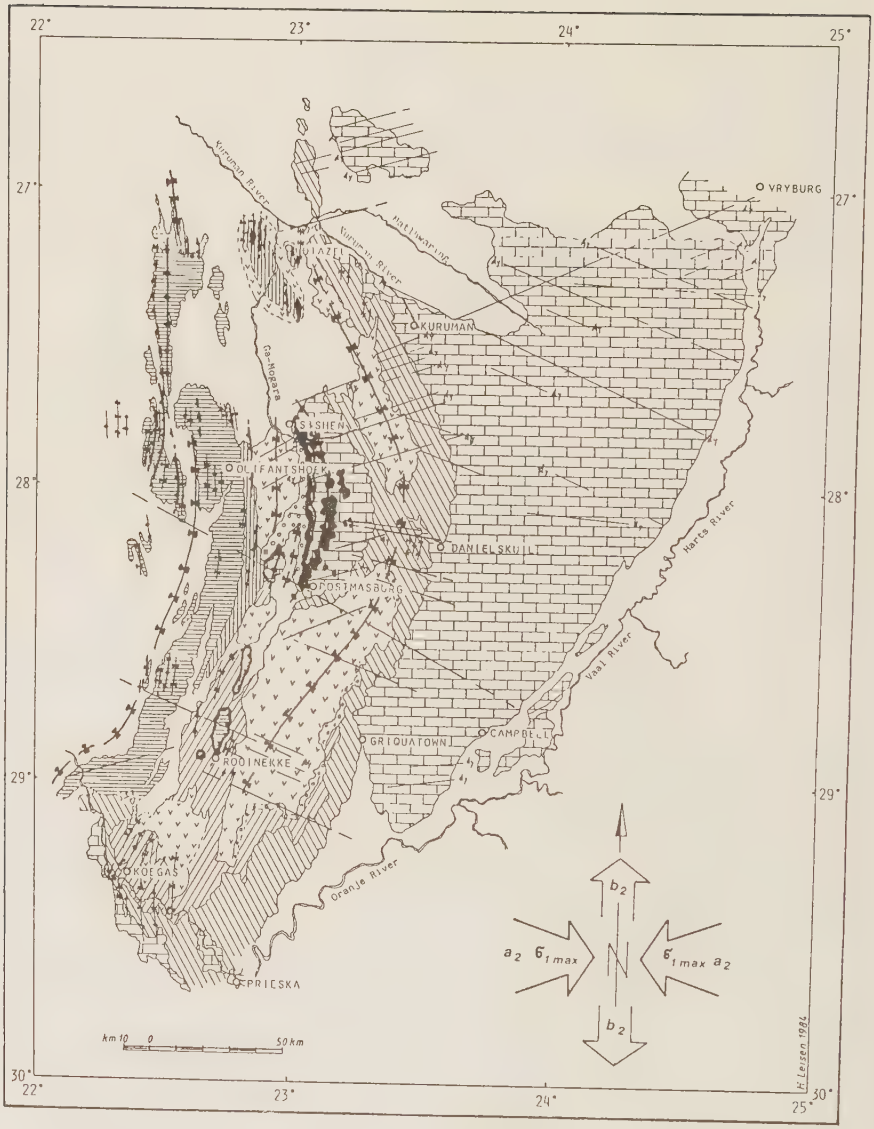
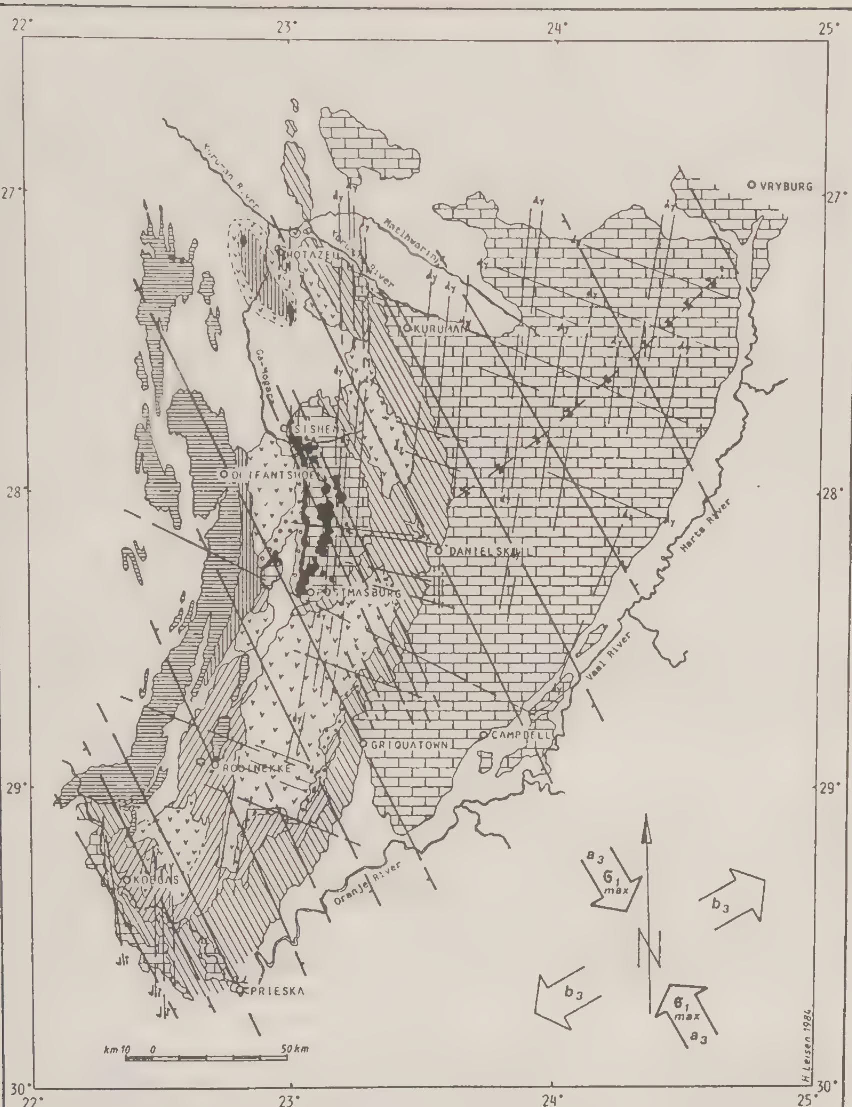
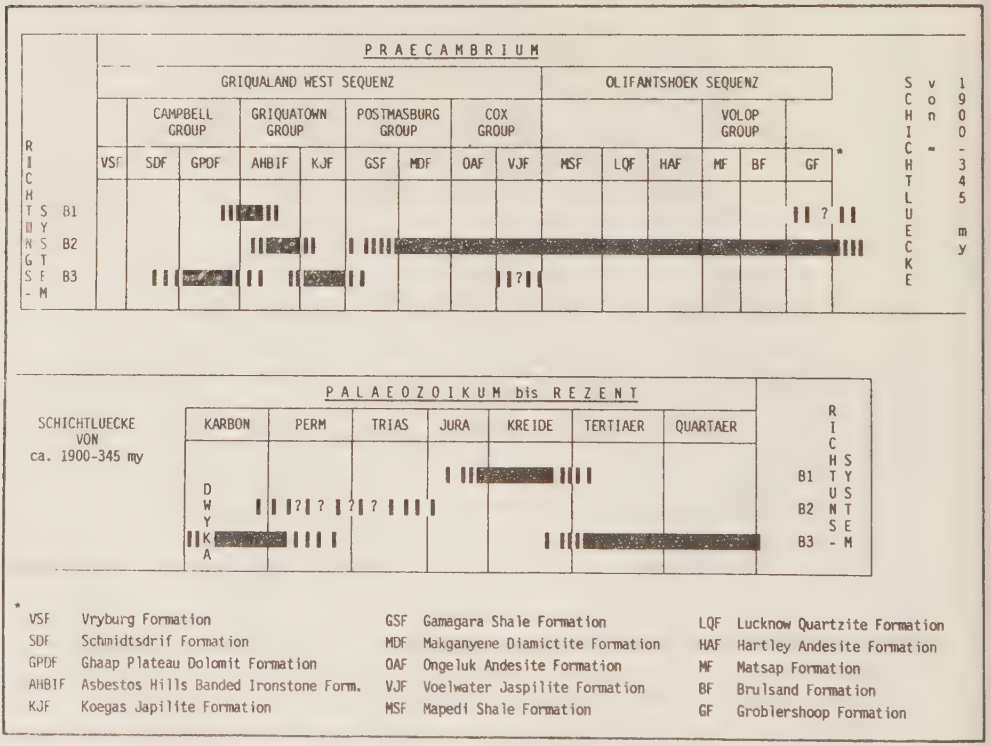


Abb. 4.3 a-c:
Tektonische Beanspruchungspläne (Richtungssysteme) aus der Großstrukturkartierung und Lineamentinterpretation im Satellitenbild. σmax stellt die Richtung der maximalen horizontalen HNS dar.


22°
23°
24°
25°
27°
28°
29°
30°
VRYBURG
KURUMAN
DANIELSKUIL
POSTMASBURG
OLIFANTSHOEK
GRIQUATOWN
CAMPBELL
ROOINEKKE
PRIESKA
Kuruman River
Harts River
Vaal River
Orange River
km 10 0 50 km
H. Leisen 1984


22°
23°
24°
25°
27°
28°
29°
30°
VRYBURG
HOTAZEL
KURUMAN
SISHEN
OLIFANTSHOEK
DANIELSKUIL
POSTMASBURG
GRIQUATOWN
CAMPBELL
ROOINEKKE
KOEGAS
PRIESKA
Matlhwaring
Harts River
Vaal River
Oranje River
a_3
σ_1 max
b_3
km 10 0 50 km
H. Leisen 1984

Gleitfaltung in den Sedimentbecken ist entsprechend der Beckenorientierung und Beckengeometrie in allen drei Richtungssystemen entwickelt (Kap. 5.3.), wobei die Nähe zum Rand des Sedimentationstroges entscheidend sein kann.
Die zeitliche Einordnung der Wirksamkeit der einzelnen Beanspruchungssysteme ist schwierig. Zu den Problemen, die sich aus der mangelnden Untersuchung der Gangsysteme des Arbeitsgebietes (Kap. 4.3.1.) ergeben, kommt noch die Tatsache hinzu, daß, abgesehen von Dwyka Tilliten und den kretazischen Kimberlitschloten, eine Sedimentationslücke von ca. 1900 my bis zum Tertiär vorhanden ist. Somit können die Dauer und die Anzahl der aktiven Phasen der einzelnen Beanspruchungssysteme nicht exakt festgelegt werden.
Im einzelnen stellen sich die Strukturen in den verschiedenen Beanspruchungssystemen wie folgt dar:



* VSF Vryburg Formation
SDF Schmidtsdrif Formation
GPDF Ghaap Plateau Dolomit Formation
AHBIF Asbestos Hills Banded Ironstone Form.
KJF Koegas Japilite Formation
GSF Gamagara Shale Formation
MDF Makganyene Diamictite Formation
OAF Ongeluk Andesite Formation
VJF Voelwater Jaspilite Formation
MSF Mapedi Shale Formation
LQF Lucknow Quartzite Formation
HAF Hartley Andesite Formation
MF Matsap Formation
BF Brulsand Formation
GF Groblershoop Formation

Abb. 4.4: Wirksamkeit der einzelnen Richtungssysteme.
graue Balken: durch geologische Fakten belegt
schwarze Rechtecke: vermutet

4.6.1. B1-System: N-S- bis 10°E-Kompression/E-W- bis 100°-Dehnung

In diesem Beanspruchungsplan erscheinen im wesentlichen: ungefähr E-W-gerichtete Faltenachsen (Wellung), N-S-streichende ac-Brüche (Grabenbrüche, Abschiebungen mit Schollenverkippung und weitreichende Gangsysteme) und NW-SE-verlaufende Scherbrüche (Abb. 4.3a).
Die zeitliche Einordnung der Wirksamkeit dieses Systems für das Arbeitsgebiet ist anhand geologischer Faktoren möglich (Abb. 4.4) und soll nachfolgend beschrieben werden.

Die Anlage der Karstsysteme auf dem Maremane Dom zeigt deutlichen B1-Einfluß. Sie folgte ac1-Trenn- und hk01-Scherbrüchen (Kap. 6.1. und Abb. 6.8). Die ältesten Sedimentfüllungen der Karststrukturen stammen aus der Asbestos Hills Zeit. Somit muß ein Bestehen von N-S-Kompression bereits vor Asbestos Hills angenommen werden. Hierauf weisen auch Mächtigkeitsschwankungen der Asbestos Hills Gebänderten Eisensteine hin, die eine Gliederung des N-S-verlaufenden Sedimentationsbeckens durch E-W-verlaufende Schwellen anzeigen (frühe B1-Faltung).
Durch die genannten geologischen Gegebenheiten ist eine frühe Wirksamkeit des B1-Systems nach der Ablagerung der Fairfield Dolomit und vor Sedimentation der Asbestos Hills Banded Iron Stone Formation angezeigt.
Ein zweites späteres Auftreten von Einengung in N-S-Richtung frühestens zur Zeit der oberen Volop Gruppe (Olifantshoek Sequenz) führte zu einer langwelligen Faltung mit ebenfalls E-W-streichenden Achsen in der Cox Gruppe und der Matsap Formation. Die Faltenachsen der frühen B1-Faltung stimmen nicht mit denen dieser Faltungsperiode überein, zudem ist die spätere Faltung auch langwelliger angelegt.
N-S-Gräben, die im Kalahari Manganfeld und in Sishen zur Konservierung von mächtigen Erzlagern führten, müssen ebenfalls einer späteren B1-Phase zugerechnet werden.
Die Blattverschiebungen mit dextralem Versatz an den NW-SE-streichenden Großlineamenten sind in allen Formationen einschließlich der Olifantshoek Sequenz nachzuweisen und sind so ebenfalls einem späteren Beanspruchungsakt zuzuordnen. Die wesentlich schwächere Ausbildung der komplementären Scherbrüche in NE-SW-Richtung läßt darauf schließen, daß die bevorzugte NW-SE-Richtung bereits in einem früheren Beanspruchungssystem angelegt war und hier nur reaktiviert wurde (s. B3-System).

Die Hauptzahl der Gangschwärme in der nördlichen Kapprovinz streicht in N-S- bis NNE-SSW-Richtung. Die zeitliche Einordnung dieser Intrusionsereignisse, welche auf eine E-W-Dehnungsphase schließen lassen, in der bereits existierende Brüche geöffnet wurden, ist von einer geologischen Differenzierung und Altereinstufung der Gänge abhängig. Der Mangel an geologischen und geochronologischen Daten begrenzt aber die Interpretationsmöglichkeiten (vgl. Kap. 4.3.1.).

Anders ist die Situation bei den Kimberlitintrusionen. Wegen ihrer wirtschaftlichen Bedeutung sind sie altersdatiert. Als Entstehungszeit wird mit Ausnahme der Premier Mine in der Transvaal Provinz der Zeitraum von 120 - 77 my angegeben.
Abb. 4.5 zeigt sowohl die Bindung der Kimberlitschlote an die NE-SW-verlaufende Griqualand-Transvaal-Achse als auch deutlich NW- und NNE-Orientierungen der Häufigkeitsverteilungen.
Nach TRUSWELL (1977) intrudiert Kimberlitmagma in tiefreichende Dehnungsstrukturen, hier nach DAWSON (1970) meist 150°-Brüche (ac3-Brüche), wo es als Gänge konsolidiert. An den Weitungen der Klüfte kann das Magma explosionsartig an die Oberfläche dringen. Dieser Fall ist an den Kreuzungspunkten der NW-Brüche mit Brüchen anderer Richtungssysteme gegeben. Daß es sich hierbei meist um ac1-Brüche handelt, zeigt die Häufung der Kimberlitschlote in NNE-Richtung. Dieser Richtung folgen auch die Kimberlitgänge von Bellsbank (Ostrand des Ghaap Plateaus).

Somit kann nur die frühe B1-Phase exakt festgelegt werden. Sie fand nach Ablagerung des Fairfield Dolomits und vor der Asbestos Hills Zeit statt.
Zu späteren B1-Beanspruchungen kam es nach der post-Matsap-Deformation . Über genaue zeitliche Einordnung ist ebenso wie über die Anzahl der Aktivitäten in diesem System keine klare Aussage möglich. Letzte Anhaltspunkte für eine Wirksamkeit des B1-Systems sind in der Jura- und Kreidezeit eventuell durch die beschriebenen Doleritgänge, sicher aber durch die Lage der Kimberlitintrusionen gegeben.

4.6.2. B2-System: W-E-Kompression/N-S-Dehnung

Diesem System sind als auffälligste Strukturen die ±N-S-verlaufenden Faltenachsen in der Olifantshoek Sequenz und die N-S-Erstreckung der Sedimentationsbeckenachsen seit der Asbestos Hills Zeit mit Ausnahme der Spezialbildungen der Koegas Jaspilite und Gamagara Shale Formation zuzuordnen (Kap. 6.6. und 6.1.).
Neben der Faltung bewirkte die E-W-Einengung auch die Ausbildung von flachen Überschiebungen in Rooinekke und im Kalahari Mangan Feld.
Die ac2-Bruchrichtung ist durch die seltenen E-W-verlaufenden Gänge im Nordosten des Ghaap Plateaus und durch E-W-Brüche in den Kuruman Hills und den Langebergen dokumentiert.
Als Scherbruchpaar treten Großlineamente in ENE- (bis NE-) und ESE- (bis SE-) Richtung auf. In diesen Richtungen verlaufen auch basische Gänge.
Die Intensität der im Satellitenbild gut erkennbaren Isoklinalfaltung in B2-Richtung nimmt von Westen (Olifantshoek Sequenz) nach Osten ab und klingt im Bereich des Ghaap Plateaus ganz aus. Ebenso sinkt auch die Anzahl der Lineamente, die dem B2-Beanspruchungsplan zuzuordnen sind von West nach Ost. Hieraus geht ein rasches Ausklingen der verformenden Kräfte nach Osten hervor.

Aus den beschriebenen geologischen Phänomenen ergibt sich eine Wirksamkeit des B2-Systems zu Beginn der Asbestos Hills Zeit und eine weitere von der Makganyene Formation bis zur post-Matsap-Deformation.
Eine dritte noch jüngere B2-Beanspruchungsphase müßte bei Bestätigung des hypothetischen prä bzw. syn Karoo Alters (MOEN 1977) der beschriebenen basaltischen Gänge angenommen werden.

4.6.3. B3-System: NW-SE-Kompression/NE-SW-Dehnung

Diesem System sind die bereits häufig erwähnten vorherrschenden Strukturen des Arbeitsgebietes, die ca. 150°-streichenden Großlineamente zuzurechnen.
Bereits vor Ablagerung des Campbell Dolomites kam es durch eine großräumige B3-Wellung des Arbeitsgebietes zur Ausbildung des Sedimentationsbeckens des Ghaap Plateau Dolomits in NE-SW-Richtung. Die obengenannten senkrecht darauf stehenden 150°-Brüche müssen in diesem System als Trennbrüche (ac3-Brüche) gedeutet werden.
Weitere Hinweise auf aktive Perioden dieses Systems gibt die Anlage der Sishen und Koegas Spezialbecken.
Die Erze von Sishen wurden in einem durch NW-SE-streichende Abschiebungsflächen begrenzten Spezialbecken abgelagert (Kap. 6.2.). Eine Absenkung während der Sedimentation in der Asbestos Hills Zeit kann die außergewöhnlich großen Erzmächtigkeiten erklären. Das die Verbreitung der Koegas Formation nach Norden begrenzende Griquatown-Lineament (150°-Streichen) agierte während der Sedimentation der Koegas Formation als SW-fallende Abschiebung (active growth fault) (s. Kap. 6.6.).
Die Orientierung von Tälern der permo-karbonischen Dwyka Vereisung mit mächtigen Tilliten sowohl im Kalahari Gebiet (J. DE VILLIERS 1960) als auch in Sishen (VAN SCHALKWYK & BEUKES 1986) zeigt eine spätere Aktivitätsphase des B3-Systems an (Abb. 4.4).

Schließlich ist als letzte B3-Periode der Zeitraum von der Kreide bis rezent anzunehmen. Die Rolle der tiefgreifenden ac3-Brüche bei der Platznahme der Kimberlitintrusionen wurde bereits zusammen mit dem B1-System beschrieben (Kap. 4.6.1.). So zeigt das Aufdringen der Großzahl von Kimberliten zur Kreidezeit den Beginn dieser letzten Beanspruchungsphase in B3-Richtung an.

Als Beleg für jüngste Bewegungen, welche mit diesem Deformationssystem in Verbindung stehen, kann die Anlage einer regionalen Wasserscheide (Anlage II 4) gelten. Diese ist auf Diastrophismus seit Ende des Tertiärs zurückzuführen, welcher zu Hebungen entlang der Griqualand Transvaal Achse führte (DU TOIT 1933, zit. in VAN EEDEN 1972). Das durch Schichtköpfe kartierte Ghaap Plateau Becken in NE-SW-Richtung (Anhang II 2) stellt also rezent einen Sattel dar, dessen Pendants in den Achsen der Kalahari und Karoo Becken liegen.

Abb. 4.5:
Verteilung von Kimberlit- und Karbonatitschloten und -gängen und anderer Intrusivgesteine im südlichen Afrika, ergänzt und verändert nach ERIKSSON (1982).
GTA: Richtung der Griqualand-Transvaal-Achse.

5. Ergebnisse der Kluftdiagramminterpretation

5.1. Allgemeines

Durch die komplexe Form der Kluftdiagramme war es schwierig, Ansatzpunkte für ihre Interpretation zu finden. Allein symmetrologische Überlegungen führen bei sich mehrfach überlagernden Beanspruchungssystemen nicht zu dem Ziel, aus den in den Diagrammen dargestellten Gefügebildern die einzelnen Teilgefüge zu extrahieren.
Die Tektonik des Arbeitsgebietes ist bislang wenig untersucht. Die älteren Arbeiten bieten keine Grundlage für eine differenzierte Beschreibung der vorhandenen Gefüge, da sie fast ausnahmslos alle auftretenden tektonischen Elemente einer einzigen Deformation (W-E-Einengung) zuordnen. Wie aber bereits die Satellitenbildauswertung zeigte (Kap. 4.), existieren in der nördlichen Kapprovinz weitreichende Strukturen, die sich allein durch eine W-E-gerichtete Deformationsachse nicht erklären lassen.
Statistische Klufterhebungen wurden in der Literatur nicht beschrieben (mit Ausnahme VAJNER 1974a) und wohl auch noch nicht durchgeführt. Die bekannten Ergebnisse kamen nur unter Zuhilfe-

nahme von Schichtflächendiagrammen und einiger augenfälliger Faltenachsen und Überschiebungen im Westteil des Arbeitsgebietes zustande.

5.2. Trennflächenanalyse

Bei der Interpretation der Kluftdiagramme wurden bewußt die Ergebnisse der Satellitenbildauswertung ausgeklammert.
Durch die unabhängige Bearbeitung der verschiedenen Daten (kleintektonisch-photogrammetrische Aufnahme und Satellitenbild) sollte die Übertragung von Fehlinterpretationen vom einen Auswerteverfahren ins andere vermieden werden.

Die Auswertung berücksichtigte
1. empirische Gesichtspunkte,
2. phänomenologische Informationen aus dem Gelände und erfolgte vor allem durch
3. eine synoptisch-statistische Betrachtung der Diagramme unter Beachtung symmetrologischer Beziehungen.

Um die Detailinformationen der Kluftdiagramme in einen größeren Rahmen einzubinden, wurden Luftbildauswertungen durchgeführt und zur Interpretation herangezogen.

1. Wie bereits mehrfach erwähnt, ist im Arbeitsgebiet mit mehreren sich überlagernden Deformationsrichtungen zu rechnen. Verantwortlich dafür sind sowohl die bei der Beschreibung der fundamentalen Kluftsysteme dargestellten (Anhang IV), im Sedimentationsbecken wirkenden Kräfte, als auch durch Rotation des Streßfeldes beeinflußte "echte" tektonische Spannungen im Sinne von BOCK (1976).

2. Folgende Strukturen können aufgrund der Geländeuntersuchungen beschrieben werden:
   a) Grabensysteme in N-S-Richtung, Gangsysteme, die weitgehend N-S-orientiert sind, E-W-verlaufende Sattel-Mulden-Systeme, Scherbrüche in NW-Richtung (dextral), Boudinage, die N-S-Einengung und E-W-Dehnung indizieren.
   b) Überschiebungen und Faltenstrukturen, die auf eine W-E-Kompression hinweisen, bzw. Boudinierung, welche N-S-Dehnung anzeigt.
   c) Brüche und Abschiebungen in NW-SE-Richtung und Beckenachsen, die darauf senkrecht stehen, Grabenbildung mit NW-SE-Orientierung und Schwerefaltung, woraus ein NW-SE-gerichtetes Gefügesystem abgeleitet werden muß.

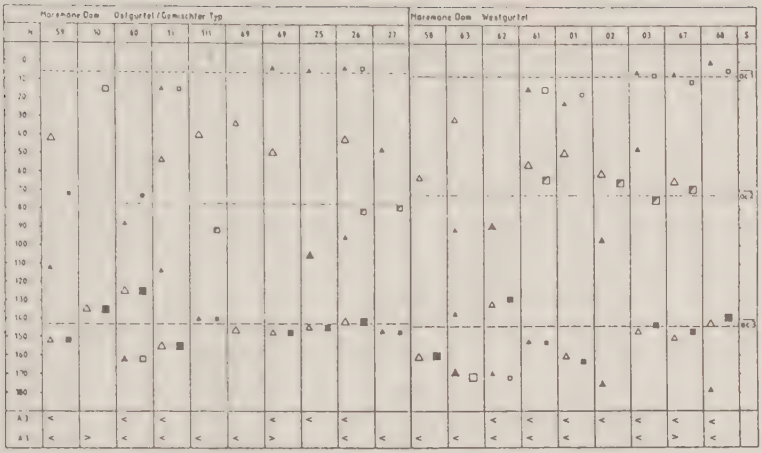
   Hierbei wird bereits deutlich, daß diese geologischen Phänomene die aus der Satellitenbildinterpretation bekannten Beanspruchungsrichtungen B1 (a), B2 (b) und B3 (c) bestätigen. Durch die Geländeinformationen war also die Ausgliederung

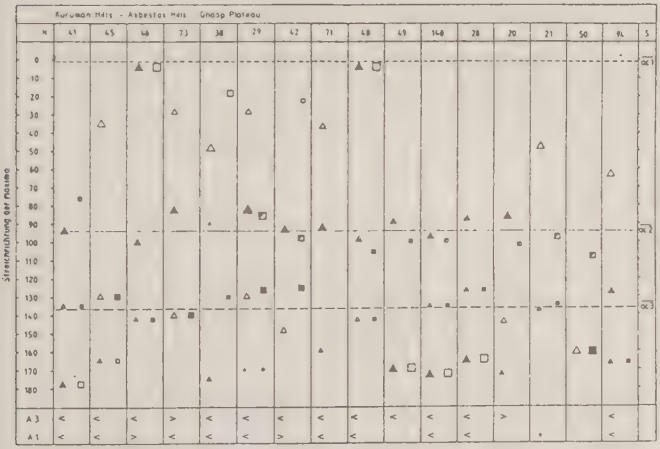
verschiedener Beanspruchungssysteme in den Kluftdiagrammen möglich. Dabei stellte sich heraus, daß auch Großstörungen und -faltung direkt mit Flächenpolen und den daraus abgeleiteten Beanspruchungssystemen zu korrelieren sind.
Eine eingehende Beschreibung der Geländeinformationen folgt in Kap. 6.

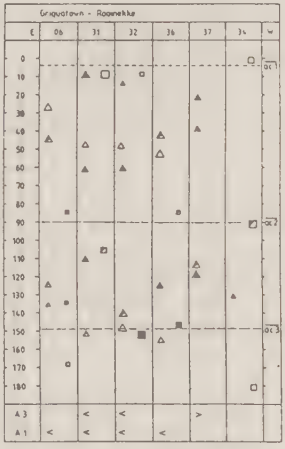
3. Tab. 5.1 zeigt die Ergebnisse dieser Auswertungen. Dargestellt ist jeweils das absolute, das zweit- und das drittgrößte Maximum aus den kleintektonischen Diagrammen. Fünf lineare Häufungen sind deutlich, deren markanteste um 150°, zwischen 90° - 100° und um 0° liegen. Geringere Maxima befinden sich bei 30° - 40° und 70° - 80°. Auch hier zeigen die stärksten Maxima die beschriebenen Richtungsgefüge B1, B2 und B3 an.

Neben der Bestätigung der drei Richtungssysteme ist durch die Auswertung der Kluftdiagramme eine genetische Zuordnung der einzelnen Gefüge möglich geworden. Richtungssysteme sind ausschließlich beschreibender Natur, genetische Systeme deuten dagegen die Entstehung der Kluftgefüge, was durch eine weitere Indizierung mit B-ss (fundamentales Kluftsystem), B-sh (Schergefüge) und B-F (faltungsbezogenes Gefüge) ausgedrückt wird.

Tab. 5.1 a - g:
Synoptisch-statistische Darstellung der Maximalverteilung von Flächenelementen in den Kluftdiagrammen, getrennt nach regionalen Bereichen.
Dargestellt ist das absolute, das zweit- und drittgrößte Maximum aus den kleintektonischen Diagrammen entsprechend der Streichrichtung der Kluftflächen durch ac- und hk0-Flächensymbole.
In den Überlegungen zu den verschiedenen Kluftsystemen wird deutlich, daß bei tektonischer Beanspruchung unter diversen Spannungsansätzen vorzugsweise steil stehende Klüfte, nämlich ac-, bc- und hk0-Flächen angelegt werden. Flacher einfallende Ab- oder Überschiebungen sind relativ selten und treten dann auch bevorzugt in bestimmten strukturellen Positionen von Sattel-Mulden-Systemen auf (JASKOLLA 1978). Daraus kann geschlossen werden, daß die Indizierung der Maxima, unter Einbeziehung symmetrologischer Zusammenhänge für hk0-Flächen, vor allem als ac-, bc- und hk0-Flächenkoordinaten zu erfolgen hat.
Diese Richtungen stellen Idealwerte aus den Diagrammen dar. Bei mehrfacher Beanspruchung kann die Kompressionsachse A auch von diesen Mittelwerten abweichen. Dabei wird jedoch davon ausgegangen, daß, bevor neue, ideal liegende Flächen (z.B. hk0-Scherflächen mit entsprechendem Scherwinkel) angelegt, ältere Gefügerichtungen reaktiviert werden.
Da bereits aus der Satellitenbildinterpretation klar ersichtlich war, daß in allen drei Richtungen Bruchsysteme mit Scherung, in ein bis zwei Richtungen auch Faltungssysteme verwirklicht sind, wohingegen noch unklar war, inwieweit fundamentale Gefüge nachweisbar sind, wurden in die Tabellen nur ac- und hk0-Flächensymbole aufgenommen.



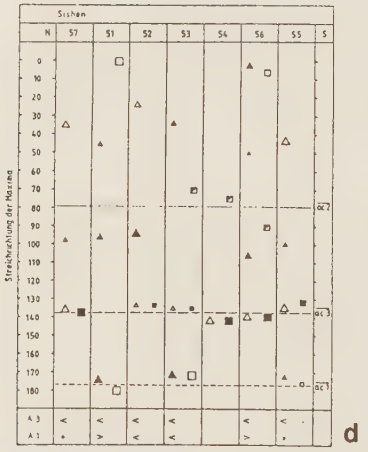




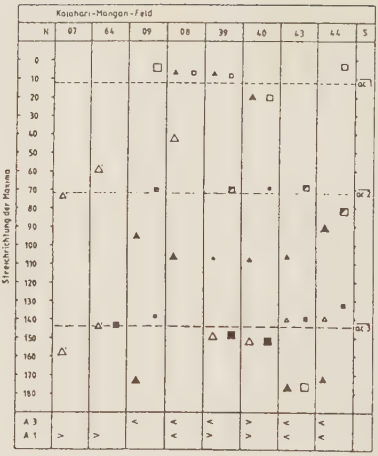
	1.(abs.)Max.	2. Max.	3 Max
B1	△ □	△ □	△ □
B2	▲ ◪	▲ ◪	▲ ◪
B3	▲ ■	▲ ■	▲ ■
	hk0 ac	hk0 ac	hk0 ac

</> Winkel der hk0 Flächen kleiner / größer 90° um A

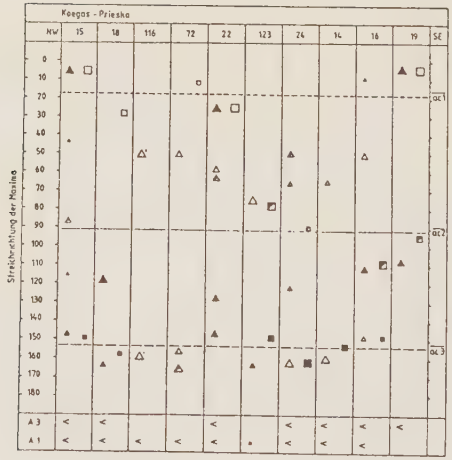
TABELLE 5.1a-g


Sishen
N
57
51
52
53
54
56
55
S
Streichrichtung der Maxima
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
GC 2
GC 3
GC 1
A 3
A 1

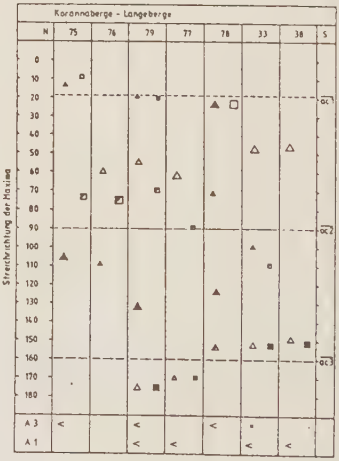
d


Kalahari-Mangan-Feld
N
07
64
09
08
39
40
43
44
S
Streichrichtung der Maxima
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
GC 2
GC 3
GC 1
A 3
A 1

e


Keegas - Prieska
NW
15
18
116
72
22
123
24
14
16
19
SE
Streichrichtung der Maxima
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
GC 1
GC 2
GC 3
A 3
A 1

f


Karannaberge - Langeberge
N
75
76
79
77
78
33
38
S
Streichrichtung der Maxima
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
GC 1
GC 2
GC 3
A 3
A 1

g

5.3. Interpretation genetischer Gefüge und Korrelation mit Richtungsgefügen

In diesem Kapitel werden die drei Richtungssysteme im Sinne unterschiedlicher genetischer Gefüge B-ss, B-sh und B-F interpretiert. Eine allgemeine Beschreibung der Grundlagen findet sich im Anhang IV.
Hierzu sollen noch ein paar Anmerkungen vorausgestellt werden: Die Entstehung fundamentaler oder primärer Gefüge B-ss ist von der Lage und Morphologie des Sedimentationsbeckens abhängig und gibt die tektonischen Bedingungen während der Ablagerungs- und Diagenesephase wieder. Einer stratigraphischen Einheit ist daher nur ein einziges fundamentales Gefüge eigen.
Bruch- und Faltungsgefüge B-sh und B-F werden durch tektonische Spannungen nach der Diagenese verursacht und können so in allen Einheiten in verschiedenen Richtungen ausgebildet sein. Ihre zeitliche Einordnung ist daher nicht eindeutig. Ein Sedimentpaket kann im Gegensatz zu seinem einzigen fundamentalen Gefüge mehrere Bruch- und Faltungsgefüge zeigen.
Ob durch eine Beanspruchung ein Schergefüge B-sh oder ein Faltungsgefüge B-F bewirkt wird, ist gesteinsabhängig (ADLER 1981) und weitgehend in der Intensität der formenden Kräfte begründet (ADLER 1981, CLOOS 1963, WUNDERLICH 1968).
So führte z.B. die post-Matsap-Deformation in den Langebergen zur Ausbildung eines starken B2-F-Gefüges, in den entfernteren Bereichen der starren Karbonatplattform des Ghaap Plateaus aber zu B2-sh-Bruchgefügen.

5.3.1. B-ss-Gefüge

Die einzelnen stratigraphischen Einheiten weisen unterschiedliche primäre Gefügesysteme auf. So zeigen die tektonischen Diagramme aus den ältesten Ablagerungen der Griqualand West Sequenz, der Campbell Dolomit Formation (Anhang III 1 und 3), und aus der Koegas Jaspilite Formation (Anhang III 5) ausgeprägte fundamentale Gefüge in B3-Richtung (B3-ss-System).
Die Hauptachse der Sedimentationsbecken in diesen Zeitabschnitten war demnach in NE-SW-Richtung orientiert, parallel zum Takwan Trog. Die ac3-Flächen entsprechen den weitreichenden NW-SE-gerichteten Störungen.
Daneben läßt sich auch in den Asbestos Hills Ablagerungen im Sishener Erzbecken eindeutig ein primäres Gefüge in B3-Richtung nachweisen: B3-ss (Anhang III 1). Das gibt aber keinen Hinweis auf die allgemeinen Sedimentationsbedingungen zur Asbestos Hills Zeit, sondern ist durch die Spezialsituation Sishen zu erklären (s. Kap. 6.2.).
Die Kluftmorphologie der Gefüge entspricht allerdings gelegentlich nicht der Vorgabe BOCKs (1976, 1980) für das fundamentale Gefüge, wonach das Hauptmaximum senkrecht zur B-Achsenrichtung steht und weniger streut als das Nebenmaximum. Als Ursache dafür können Beckenrandeinflüsse (BOCK 1980, JASKOLLA 1978) zumindest

im Bereich der Koegas Formation und im Sishener Erzbecken geltend gemacht werden. Aber auch spätere tektonische Überprägungen sind durchaus denkbar.
Ein zweites fundamentales Gefüge ist schwieriger zu diagnostizieren, da die beiden weiteren Richtungssysteme B1 und B2 ungefähr senkrecht aufeinander stehen. Daß es sich nicht um B⊥B-Tektonik handelt, geht aus den Untersuchungen klar hervor, da nachgewiesen werden kann, daß sowohl B1- als auch B2-Beanspruchungen unabhängig voneinander existent waren (Kap. 6.).
Die Kluftkonfigurationen der Diagramme aus der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation, Gamagara Shale Formation, Cox Gruppe und Olifantshoek Sequenz (Anhang III) zeigen ein fundamentales Gefüge in B2-Richtung (B2-ss). Auch die regionale Verbreitung der Serien weist auf eine Beckenachse in N-S-Richtung hin.
Die zu dem fundamentalen B2-ss-Gefüge gehörenden ac2-Klüfte treten deutlich hervor und wurden sicher durch die Kompressionskräfte der post-Matsap-Deformation verstärkt. Dies widerspricht aber nicht der Einstufung dieser Klüfte als Hauptmaximum eines fundamentalen Gefüges, da die spätere Beanspruchung diese Klüfte nur akzentuiert bzw. reaktiviert haben dürfte.
Neben der generellen N-S-Beckenerstreckung müssen aber auch Teilbecken in E-W-Richtung angenommen werden, in denen ein B1-ss-Gefügesystem entwickelt ist, speziell in den kleinen Karstsenken der Gamagara Shale Formation (Anhang III 1 und 3) und in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation, wo es, wie Mächtigkeitsschwankungen zeigen , durch E-W-gerichtete Schwellen zur Ausbildung von Spezialsenken innerhalb des N-S-streichenden Ablagerungsraumes kam. Weitere B-ss-Gefüge sind nicht nachweisbar.

5.3.2. B-sh-Gefüge

Als zweiter Gefügetyp sind Bruchgefüge mit Scherdeformation ausgebildet. Sie sind v.a. in kompetenten Gesteinen, wie z.B. auf der starren Karbonatplattform des Ghaap Plateaus, entwickelt. Alle drei Richtungssysteme sind vertreten (B1-sh, B2-sh, B3-sh). Vorzugsweise wurden ac- und hk0-Klüfte ausgebildet und örtlich treten starke 0kl-Flächen, die zur Grabenbildung führten ("laterale Dehnung": CLOOS (1963)), auf. Die Anlage der verschiedenen B-sh-Gefüge macht deutlich, daß einmal angelegte Bruchgefüge zu jeder Zeit reaktiviert werden können.
So werden ac-Brüche häufig als Horizontalverschiebungen wiederbelebt, wodurch sie ihre alten Eigenschaften als Trennbrüche verlieren und oft wegen Harnischtapeten und Striemungen nicht mehr als solche erkennbar sind.
Neben der allgemeinen Präsenz der drei Schergefüge in den Kluftflächendiagrammen gibt es sehr deutliche Beispiele für das Auftreten einzelner Scherbruchsysteme.
So zeichnet die Form und Anlage der Karststrukturen auf dem Maremane Dom besonders gut ein Schergefüge in B1-Richtung nach. Diesem Schergefüge sind auch die vielen Blattverschiebungen an hk01-Flächen (NW-SE, untergeordnet NE-SW) zuzuordnen. Kleinere Störungen mit Horizontalversatz sind in allen Luftbildauswertun-

gen zu finden (Kap. 6. und Anhang II 5).
Auch die bereits beschriebenen (Kap. 4.3.) mit Gangmaterial verfüllten Fiederspalten und die en échelon Anordnung von Gangsystemen, die im Luftbild häufig zu beobachten ist, zeigen Scherbruchbildung an. Durch die indizierten horizontalen Bewegungsrichtungen läßt sich sowohl N-S- (B1-sh) als auch E-W- (B2-sh) Einengung zeigen.
Das Aufdringen von Kimberlitintrusionen ist an Störungszonen gebunden. Die Häufungen von Kimberliten an den 150°-Lineamenten (ac3) und die starke Beteiligung der Nordrichtung (ac1) zeigen B3-sh- und B1-sh- Bruchgefüge an.

5.3.3. B-F-Gefüge

Die Ansprache von faltungsbezogenen Gefügesystemen erfolgte auf Grund der in weiten Bereichen der nördlichen Kapprovinz auftretenden Faltenstrukturen. Sie orientierte sich an den Großfaltenachsen und den Begleiterscheinungen wie Überschiebungen, die aus der Kompression, welche zur Faltung führte, resultieren.
Am deutlichsten sind im Arbeitsgebiet Faltungsgefüge in B2-Richtung (W-E-Einengung): B2-F ausgebildet.
Ostvergente Isoklinalfaltung im Westen läßt eine starke Beanspruchung mit intensiver Formung erkennen. Nach Osten geht die Faltung in immer offenere Strukturen über (zentraler Gürtel VISSERs (1944)), was auf eine ruhigere Formung hinweist, bis sie schließlich im Osten ausklingt. Zu den im fundamentalen Gefüge B2-ss angelegten Kluftflächen treten hk0-Scherklüfte (z.B. sicher reaktivierte B1- und B3-Gefügeflächen) und flach einfallende h0l-Klüfte, die im Gelände durch Überschiebungen nachgewiesen sind und so ein Faltungsgefüge implizieren (Kap. 6.3., 6.4. und 6.5.), hinzu.
Teilweise kam es zu Überlagerung von B2-F-Gefügen mit Rutschgefügen z.B. in Karsttiefstrukturen. Diese stellen nur willkürliche Spezialbildungen dar und geben keine Hinweise auf den generellen Beanspruchungsplan. Eine getrennte Ansprache war aber durch die Kartierung unterschiedlicher Faltenbilder (Faltungstyp), von Anzeichen für Faltenvergitterung und typischen Rutschgefügen in einzelnen Schichtpaketen (DENNIS 1972) im Gelände durchaus möglich (Kap. 6.).
Die frühe Beanspruchung mit N-S-liegender maximaler Hauptnormalbeanspruchung, die nachweisbar während der Erosionsphase nach Ablagerung der Ghaap Plateau Formation wirksam war (s. Kap. 6.1), führte auch zur Anlage eines faltungsbezogenen Gefüges (B1-F).
Diese Faltungsphase steht jedoch in der Formungsintensität weit hinter der post-Matsap-Deformation zurück. Sie führte zu dem oben beschriebenen breitgespannten Sattel-Muldenbau mit B-Achsenrichtung in E-W, der, wie bereits erwähnt, die nachfolgende Sedimentation ebenfalls beeinflußte.
Vorherrschend sind in diesem System ac- und hk0-Klüfte, und gelegentlich treten h0l-Überschiebungen auf.

6. Beschreibung der tektonischen Prägung ausgewählter Bereiche mit Geländeinformationen und Luftbildauswertung

Zusätzlich zu den Ergebnissen aus der Satellitenbildauswertung (Kap. 4) sollen hier die tektonischen Gegebenheiten in ausgewählten Bereichen anhand von kleintektonischen Untersuchungen mit Geländeinformationen und Luftbildauswertungen beschrieben werden. In Abbildung 6.1 sind die Signaturen zu allen Luftbildauswertungen in einer Legende (sofern nicht mit eigener Bilderklärung versehen) zusammengefaßt.

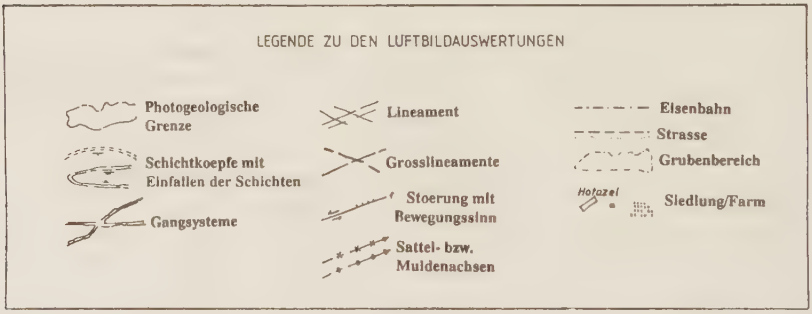


Abb. 6.1: Legende zu den Luftbildauswertungen der folgenden Kapitel

6.1. Maremane Dom

Der Maremane Dom mit seinen Eisen- und Manganlagerstätten stellt eine der tektonisch komplexesten Strukturen im Arbeitsgebiet dar. Das Blockbild in Abbildung 6.2 zeigt eine schematische Darstellung des Maremane Doms und der östlich angrenzenden Synklinorien und stellt einige der wichtigsten Strukturen vor. Zur Erläuterung der abstrakten Zeichnung soll das naturgetreue Luftbild aus dem zentralen Bereich des Maremane Doms (Abb. 6.3) dienen.
Trotz einer größeren Anzahl bestehender Arbeiten über diesen Bereich sind noch immer mehrere Fragen offen (Kap. 1.3.2. und 1.3.3.), deren Klärung Voraussetzung zum Verständnis der tektonischen Geschichte des Maremane Doms ist.

1. Stellen die Wolhaarkop und Blinkklip Brekzien des Ostgürtels und des gemischten Vererzungstyps Karstbildungen dar (BEUKES 1983, NEL 1929, PLEHWE-LEISEN 1986, ROGERS 1906), oder sind sie tektonische Brekzien (Überschiebungsbrekzien: BOARDMAN

1964, J. DE VILLIERS 1960, DU TOIT 1933, TRUTER et al. 1938, VISSER 1944; Faltungsbrekzien: RICHTER 1933)? Sind die Wolhaarkop und Blinkklip Brekzien somit am Übergang der Campbell Gruppe zur Griquatown Gruppe (Asbestos Hills Banded Ironstone Formation) einzustufen (BEUKES 1978 und 1983, MOEN 1977 und 1979, PLEHWE-LEISEN 1986, SACS 1980) oder in post Matsap Alter (BOARDMAN 1964, J. DE VILLIERS 1960, VISSER 1944)?

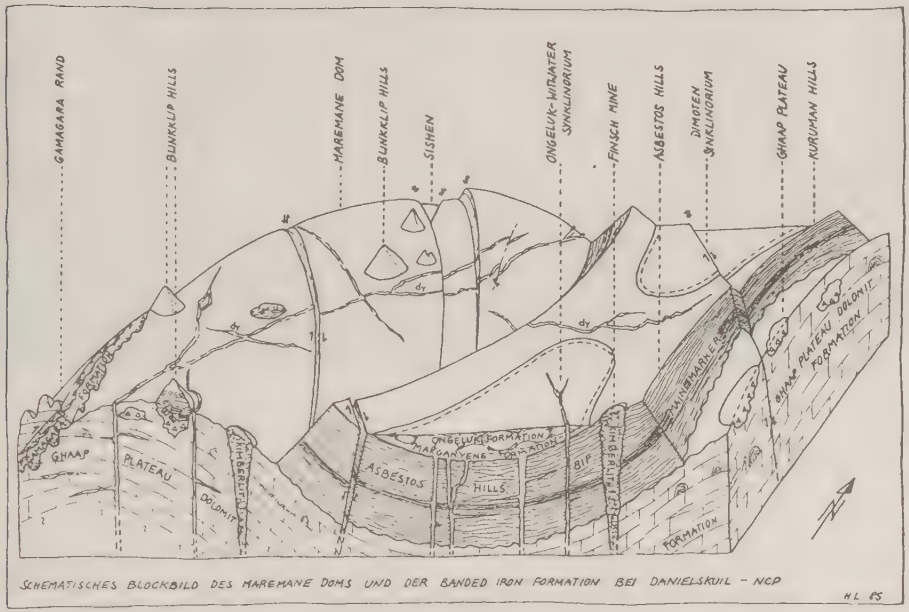


Abb. 6.2: Schematisches Blockbild des Maremane Doms und der östlich angrenzenden Ongeluk Witwater und Dimoten Synklinorien.
Dargestellt sind N-S- und E-W-verlaufende Sattel- und Muldenachsen (Dom-Becken-Strukturen), NW-SE- bis NNW-SSE-streichende Großlineamente als Blattverschiebungen und Sprünge, die Karststrukturen der Blinkklip Hills, lokale Überschiebungen im Verkarstungsbereich des Gamagara Rand, sowie Gangsysteme und Kimberlitintrusionen.

Abb. 6.3: Luftbild aus dem Zentralbereich des Maremane Doms zwischen Maremane im Osten und Lohatlha im Westen.
Gut erkennbar sind am rechten Bildrand die z.T. kreisrunden "Sinkhole" Strukturen der Blinkklip Hills (Ostgürtel), in denen die vererzten Wolhaarkop und Blinkklip Brekzien sowie die Eisenerze der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation anstehen.
Nahe am linken Bildrand kennzeichnen unruhige Strukturen die Abbau- und Haldenbereiche des westlichen Vererzungsgürtels. Hier liegen die Manganerze der Gamagara Shale Formation. Zwischen den beiden Vererzungsgürteln liegt eine Ebene, in der Linien von Schichtköpfen leicht Ost fallender Dolomite zusammen mit einer großen Anzahl erkennbarer Störungen (meist mit basischem Gangmaterial verfüllt) die beherrschenden Strukturen darstellen.

2. Ist die Gamagara Formation als Bildung der Postmasburg Gruppe anzusehen (BEUKES 1978, P.R. DE VILLIERS 1970, MOEN 1977 und

1979, PLEHWE-LEISEN 1986, RICHTER 1933, SACS 1980, VIERNSTEIN 1981) oder ist sie der Olifantshoek Sequenz (BEUKES 1983 und 1986, BOARDMAN 1964, J. DE VILLIERS 1960, DU TOIT 1933, HALL 1926, NEL 1929, VISSER 1944) zuzuordnen?

3. Die Frage der zeitlichen Einordnung ist eng mit der Genese der Eisen-Mangan-Vererzungen gekoppelt, die als syngenetisch bzw. synsedimentär betrachtet (KAISER 1931, PLEHWE-LEISEN 1986, RICHTER 1933, SCHNEIDERHÖHN 1931, VIERNSTEIN 1981) oder als Verdrängungslagerstätten angesehen werden (ANHAEUSSER und BUTTON 1976, BEUKES 1973 und 1978, J. DE VILLIERS 1960, DU TOIT 1933, NEL 1929).
Hierbei ist der Bildungszeitraum im Gegensatz zur syngenetischen Entstehung unklar und in Verbindung mit der Überschiebungstheorie werden so Bildungszeiten von post Matsap (J. DE VILLIERS 1960, VISSER 1944), prä bis post Karoo (VISSER 1944) und post Karoo (ANHAEUSSER und BUTTON 1976) genannt.

Hierzu soll ein kurzer Überblick über die tektonische Geschichte des Maremane Doms gegeben werden, wie sie sich nach den beschriebenen Untersuchungen darstellt.
Die kleintektonischen Diagramme (Anhang III 1) zeigen, daß alle drei Richtungssysteme mit vier Hauptbruchrichtungen für die tektonische Prägung verantwortlich sind. Sie sind in den verschiedenen stratigraphischen Einheiten unterschiedlich stark ausgeprägt. Wie im gesamten Arbeitsgebiet ist auch hier in den Dolomitabfolgen ein fundamentales Gefüge in B3-Richtung (B3-ss) ausgebildet mit ac3-Brüchen in 150° (z.T. Großlineamente und Großabschiebungen unter Einbeziehung von Okl3-Flächen).
Die fundamentalen Gefüge der jüngeren Abfolgen in den kleinen Karstsenken sind, wie zu erwarten, nicht einheitlich ausgebildet. Hier zeigen die Hauptmaxima (ac und hk0) und die flach einfallenden h0l-Flächen eine vorherrschende Rolle von B1-sh/F- und B2-F/sh-Gefügesystemen an.
Die Trennung zwischen Bruchsystemen mit Scherung und faltungsbezogenen Systemen ist hier nicht sehr deutlich. Beanspruchungen in Richtung des B1-Systems verursachten sowohl Trenn- und Scherbruchbildung als auch eine leichte Faltung, welche ein weites Sattel- und Muldensystem in W-E-Richtung zur Folge hatte (vgl. Kap. 4.4.). Grabenbildung, Boudinierung bzw. in inkompetentem Gestein Pinch-und-Swell-Strukturen weisen auf Dehnung in E-W-Richtung hin.
Beanspruchung mit W-E-gerichteter maximaler Hauptnormalbeanspruchung (B2-System) zu Beginn der Asbestos Hills Zeit bewirkte im Gebiet des Maremane Doms eine weite offene Faltung.

Die statistische Auswertung der Lineamente im Satellitenbild weist markante Maxima in 10°, 40 - 50° und 150° auf (Abb.4.2 und 6.8.). Diese Richtungen stellen auch in der Luftbildauswertung (Anhang II 5 und Abb. 6.7 a,b) die Hauptmaxima dar. Weiter sind sie gut durch ein B1-System mit starken ac1- und hk0-Klüften in den kleintektonischen Diagrammen des Maremane Doms (Anhang III 1) dokumentiert.

Abb.6.4 a:
Überschiebung von Ghaap Plateau Dolomit auf vererzte Gamagara Tonschiefer in der Mangan-Lagerstätte Bishop.

Abb. 6.4 b:
Aufschiebung in der Eisen-Lagerstätte Sishen.

Abb. 6.5:
Disharmonische, ostvergente Faltung in der Gamagara Shale Formation: Eisen-Mangan-Lagerstätte Aucampsrus-Turner.

Die Anlage des für die Entstehung der Brekzien und der Vererzungen wichtigen Karstsystems folgte tektonischen Schwächezonen.
In der Karstliteratur ist unumstritten, daß an Klüften, Spalten und Störungen Karstsysteme ausgebildet werden und daß tektonische Beanspruchungen, die für diese Brüche verantwortlich sind, ursächlich Verkarstung zur Folge haben (BÖGLI 1978, GOSPADOVIC 1969, JAKUCS 1977, JASKOLLA & VOLK 1986, JENNINGS 1971, SCHMIDT-THOME 1972, SWEETING 1972, ZÖTL 1974). Damit ist auch ihre Richtungsabhängigkeit impliziert, worauf auch Ausdrücke in der Karstnomenklatur hinweisen, wie z. B. gerichteter Karst, Dolinenketten, Karstgassen usw.
Eine Analyse der "sinkhole"-Formen im Luftbild (Anhang II 5) und in den geologischen Karten von J. DE VILLIERS (1960), MOEN (1977 und 1979), NEL (1929) und RICHTER (1933) zeigt, daß die meisten Karststrukturen Längsachsen in NW-SE-Richtung besitzen, während die komplementäre Scherbruchrichtung nur in wenigen Fällen nachgezeichnet wird.
Dagegen erfolgte die Reihung der Dolinen meist in 0 - 10°-Richtung. Grund ist die starke Grundprägung des Ghaap Plateau Dolomits durch sein B3-ss-Gefüge. Die Reihung der Dolinen in Richtung der ac1-Trennbrüche weist auf ein Beanspruchungssystem in B1-Richtung zur Zeit der Verkarstung hin. In diesem System werden die ac3-Brüche in 150° als hk01-Scherbrüche neu belebt und sind so sehr stark vertreten. Die komplementäre Scherbruchrichtung ist im B3-System noch nicht vorgeprägt und dementsprechend wesentlich seltener.

Abb. 6.6: Wolhaarkop Brekzie mit Residualstrukturen in der Eisen-Mangan-Lagerstätte Pensfontein.
Die silikatischen Lagen des Ghaap Plateau Dolomits lassen noch deutlich ihren ursprünglichen Zusammenhang erkennen.

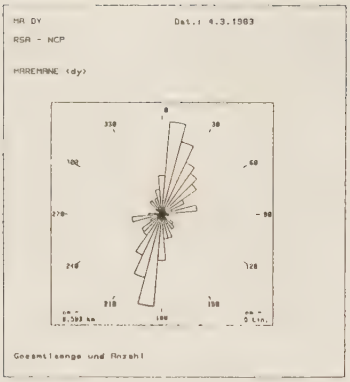


Abb. 6.7 a:

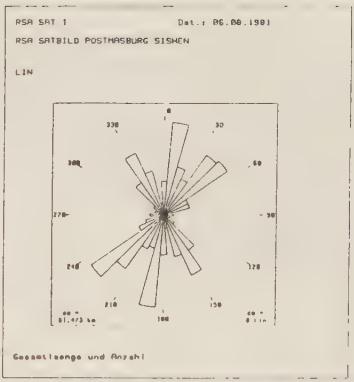


Abb. 6.7 b:

Abb. 6.7: Photogeologische Kartierung des Maremane Doms im Luftbild (Lineamentauswertung)(Anhang II 5).
a: Richtungsverteilung der Gänge
b: Richtungsverteilung der Lineamente

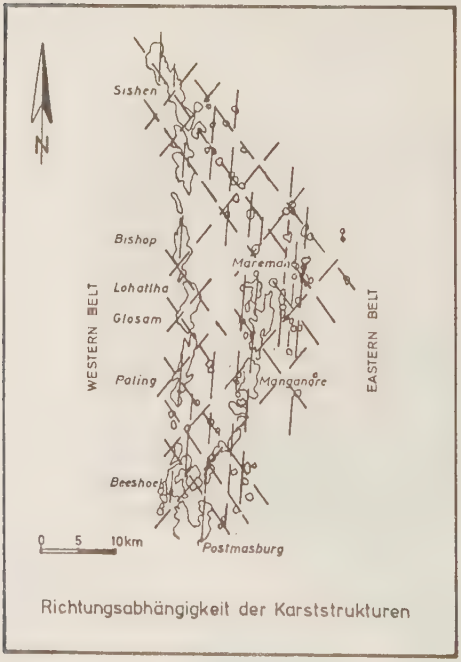


Abb. 6.8:
Schematische Darstellung der Richtungsabhängigkeit von Karststrukturen auf dem Maremane Dom.

1. Entstehung der Wolhaarkop und Blinkklip Brekzie: Karsttheorie

Das Auftreten der beiden Brekzien in sensu stricto ist auf die präkambrischen Verkarstungserscheinungen ("sinkholes") beschränkt. Die teils Mangan-vererzte Wolhaarkop Brekzie wurde in den Lagerstätten des Ostgürtels und des gemischten Typs abgebaut. Die so geschaffenen Aufschlüsse zeigen deutlich die Karstreliktstrukturen des Dolomits, dessen schwerlösliche Bestandteile wie z.B. Chertlagen sich in der Brekzie als Komponenten wiederfinden. Sie lassen noch oft ihren ursprünglichen Zusammenhang erkennen, was bei einer tektonischen Brekzie nicht der Fall wäre (Abb. 6.6). Dies alles spricht für eine Deutung der Wolhaarkop Brekzie als Karstbrekzie. Ihre Bildung muß somit gleichzeitig mit der Verkarstung erfolgt sein, was ein prä bzw. früh Asbestos Hills Alter für die Wolhaarkop Brekzie festlegt.
Die Blinkklip Brekzie, eine Banded Ironstone Brekzie, geht über unbrekziierte, aber in ihren liegenden Teilen stark verfaltete (Rutschgefüge), Asbestos Hills Banded Ironstones in ungestörte Lagen über. Die Schichtflächen der Banded Ironstones zeigen umlaufendes Streichen und fallen einem zentralen Kesselpunkt zu. Rutschstrukturen zum Beckentiefsten verdeutlichen die Situation. Dies zeigt, daß die Blinkklip Brekzie als Einsturzbrekzie in Verbindung mit dem Kollaps der unterlagernden Karsthohlräume entstand und so früh Asbestos Hills Alter haben muß.
Folgende Überlegungen sprechen weiter gegen einen tektonischen Ursprung der Brekzien im Zusammenhang mit großräumigen Überschiebungen: In Bereichen, in denen diese Brekzien fehlen, wie z.B. im Westgürtel, wird die Überschiebungsbahn in dem Basiskonglomerat der Gamagara Shale Formation (Doornfontein Konglomerat) angenommen (VISSER 1944). Hierbei handelt es sich aber um ein Erosionsprodukt der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation deutlich nicht tektonischen Ursprungs. Hinzu kommt, daß dieses Konglomerat im Ostgürtel die Sedimente der Asbestos Hills Zeit überlagert.
Daneben liegen nach der geologischen Karte von J. DE VILLIERS (1960) die Überschiebungsbahnen mal zwischen Doornfontein Konglomerat und Gamagara Tonschiefern, mal zwischen Wolhaarkop Brekzie und Doornfontein Konglomerat, Wolhaarkop Brekzie und Gamagara Tonschiefern oder zwischen Wolhaarkop und Blinkklip Brekzie. Dies würde Schichtglieder aus unterschiedlichen stratigraphischen Horizonten (z.B. Wolhaarkop Brekzie, Blinkklip Brekzie, Doornfontein Konglomerat) direkt miteinander korrelieren und ist geologisch wenig wahrscheinlich.

2. Zeitliche Einstufung der Gamagara Shale Formation

Die Einstufung der Gamagara Shale Formation in Matsap bzw. Loskop Alter (Tab. 1.2) lieferte VISSER (1944) weitere Argumente für seine Überschiebungstheorie, die in der neueren Literatur von BEUKES (1983) aufgrund der Ähnlichkeit der Gamagara Quarzite mit den Matsap Ablagerungen übernommen wurde. Dabei bedarf es allerdings mehrerer Überschiebungsbahnen und einer komplizierten Tektonik (Kap.1.3.3.), was hier abgelehnt wird. Eine Einordnung nach

MOEN (1977 und 1979), RICHTER (1933) und SACS (1980) als Formation der Postmasburg Gruppe, erscheint nach dem Geländebefund wesentlich sinnvoller.
Denn das Basiskonglomerat der Gamagara Formation überlagert im Ostgürtel die Asbestos Hills Banded Ironstone Formation (s.o.) und weist einen normalen sedimentären Ursprung auf. Im Westen am Gamagara Rand liegen über den Sedimenten der Gamagara Formation Makganyene Diamiktite und Ongeluk Laven der Cox Gruppe ohne jede Anzeichen eines gestörten Kontakts. Damit ist ein post Asbestos Hills und ein prä Cox Alter für die Gamagara Shale Formation festgelegt.
Neben den Überschiebungsbahnen im Gamagara Gebiet können weitere im Westen (J. DE VILLERS 1960, VISSER 1944) bei Einstufung der dort auftretenden Schichtglieder nach SACS (1980) ebenfalls entfallen. Dies steht nicht im Widerspruch zur Tatsache, daß am Gamagara Rand, wie bereits erwähnt, Überschiebungen zu beobachten sind. Diese sind jedoch lokaler Natur; es handelt sich nicht um die vermeintlichen Überschiebungen der Gamagara Serien auf den Ghaap Plateau Dolomit (BOARDMAN 1964, J. DE VILLIERS 1960, VISSER 1944) oder der Cox Gruppe auf die Gamagara Formation (BEUKES 1983). Im Gegenteil wurden, wie Abb. 6.4 a zeigt, Dolomite auf die vererzten Tonschiefer aufgeschoben. In anderen Bereichen zeigt der Dolomit die für die Verkarstung typischen Dolomitnadeln (Pinnacles) (Abb. 6.9), die bei der von VISSER (1944) postulieren Überschiebung so kaum mehr existent wären.
Die lokalen Überschiebungen sind Ausdruck der B2-F-Deformation (post Matsap), die auch in Sishen durch Aufschiebungen dokumentiert ist (Abb. 6.4 b) und sich z.B. in Lohatlha und Aucampsrus in ostvergenter Faltung ausdrückt (Abb. 6.5).

Abb. 6.9: Karststrukturen ('Pinnacles') in der Manganlagerstätte Glosam ohne Hinweis auf Überschiebungen.

3. Zeitliche Einordnung der Erzbildung und Erzgenese

Mit PLEHWE-LEISEN (1986) und VIERNSTEIN (1981) werden die Mangan- und Eisenvererzungen als syngenetisch zur Verkarstung bzw. als synsedimentär eingestuft. Die Entstehung der Manganerze in der Wolhaarkop Brekzie und in den liegenden Teilen des Westgürtels ist an die Ausbildung der Karstsysteme gebunden, also syngenetisch zur Verkarstung und damit eindeutig als post Fairfield Dolomit und prä Asbestos Hills Banded Ironstone Formation (Ostgürtel) bzw. prä Gamagara (Westgürtel) festgelegt. Die synsedimentäre Genese der Eisen- und Manganerzlagen in der Asbestos Hills und Gamagara Shale Formation zeigt sich deutlich im konkordanten Auftreten, strenger Schichtgebundenheit, sowie sedimentären Strukturen und dem Vorhandensein des Manganminerals Braunit, der nach ROY (1981) nur aus sedimentär entstandenen Erzen bekannt ist. Somit ist auch das Alter dieser Vererzungen klar bestimmt.
Nach Ausbildung der Verkarstung und der Entstehung der Eisen- und Manganerze folgte die tektonische Entwicklung auf dem Maremane Dom den aus den vorigen Kapiteln bekannten Schritten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

1. Die Wolhaarkop und Blinkklip Brekzien stellen keine Überschiebungs- bzw. Faltungsbrekzien dar.
2. Die Brekzien sind infolge der durch horizontal gerichtete Beanspruchung (B1-sh-System) beeinflußten Verkarstung auf dem Maremane Dom entstanden.
3. Die Verkarstungsstrukturen folgen den Trenn- und Scherbruchrichtungen dieses B1-sh-Beanspruchungssystems.
4. Die Eisen-Mangan-Vererzungen sind syngenetisch bzw. synsedimentär.
5. Die Entstehung der Erze ist demnach nicht in post Matsap Zeit anzunehmen, sondern muß in post Ghaap Plateau und prä Makganyene Alter eingestuft werden.

6.2. Eisenlagerstätte Sishen

Die Eisenlagerstätte Sishen wird wegen ihrer Sonderstellung im folgenden detaillierter beschrieben. Nirgendwo sonst auf dem Maremane Dom treten so reiche Eisenerzlager auf.
Voraussetzung für die Ablagerung der mächtigen Erzlagen ist nach KLEMM (frdl. mdl. Mitt.) ein Becken mit bestimmter Beckentiefe, in dem die physicochemischen Bedingungen die Fällung des angelieferten Eisens bewirken, während das ebenfalls vorhandene SiO_2 wieder in Lösung geht. Dadurch wird die Verdünnung der Erzablagerungen durch SiO_2 vermieden. Diese Voraussetzung ist hier, wie nachfolgend gezeigt werden soll, gegeben.
Am Beginn der Entwicklung der Sishenerze stand wie überall auf dem Maremane Dom ein Karstsystem. Ehemalige "sinkholes" sind im Luftbild sowie in einer Thermalinfrarot-Befliegung (Anhang I8)

deutlich zu erkennen. Die starke NW-SE-Prägung des Maremane Doms zeigt sich an der Orientierung der Karststrukturen. Durch Einbruch der Karsthohlräume wurden Wolhaarkop und Blinkklip Brekzie gebildet. Während weiterer Sedimentation der Asbestos Hills Abfolgen kommt es unter neuerlichem Einfluß eines B3-Streßfeldes (s. Abb. 4.4) zur Anlage eines durch ca. 150°-streichende Abschiebungen (Okl3) begrenzten Erzbildungsbeckens. Hierauf weisen auch die Kluftuntersuchungen hin. In den erzführenden Sishensedimenten ist ein einheitliches sedimentäres Gefüge ausgebildet, womit nur in einem Großbecken, nicht aber in kleinen Karststrukturen zu rechnen ist. Dank dieses tektonisch begrenzten Großbekkens kam es zur Sedimentation der mächtigen Erzlagen. Die Erzmächtigkeiten sind dabei in den tiefsten Beckenpartien, d.h. dort wo sich eingebrochene "sinkholes" am Beckenboden befinden, am größten.

Abb. 6.10 a:
Tertiärer bis Rezenter Graben in ca. 150°-Richtung in der Eisenlagerstätte Sishen.

Abb. 6.10 b:
N-S-streichende Großabschiebung im Zentralbereich der Eisenlagerstätte Sishen.

Die Kluftgefüge in den kleintektonischen Diagrammen (Anhang III1) zeigen ein fundamentales Kluftgefüge (B3-ss), dessen Kluftstellung entsprechend den Beobachtungen BOCKs (1976 und 1980) nahezu ideal erscheint. Begleitet werden die ac-Flächen von ausgesprochenen 0kl-Maxima, welche durch ca. 140°- bis 150°-streichende Flächen mit 60°- bis 70°-Einfallen repräsentiert werden. Sie zeigen dadurch eine Überprägung und den Übergang zum degenerierten fundamentalen Kluftsystem (BOCK 1980) an. An mehreren Geländeaufschlüssen konnten Kleinstörungen in dieser Richtung mit eindeutigen Schleppungen festgestellt werden, welche vermutlich während der Sedimentation aktive Abschiebungen darstellten. Die geschleppten Schichtglieder reißen an den Störungen ab und sind nicht mehr miteinander korrelierbar. Eisenreicherzlagen liegen unvererzten Banded Ironstones gegenüber. Dies wäre bei Rutschgefügen, wodurch die Schleppungen bislang erklärt wurden, nicht der Fall. Junge Bewegungen in dieser Richtung führten u.a. zur Ausbildung von Kleingräben (Abb. 6.10 a).
Neben diesem Gefügesystem sind weitere Beanspruchungsrichtungen erkennbar. So deutet eine Boudinierung, die in den Gamagara Quarziten entwickelt ist, E-W-Dehnung an. Diese kommt noch klarer in dem zentralen N-S-Graben zum Ausdruck, dessen östliche Abschiebungsbahn in Abb. 6.10 b dargestellt ist.
Hierfür ist ein B1-Beanspruchungssystem anzunehmen, das auch Faltung mit E-W-verlaufenden B-Achsen verursachte. Diese führten in Verbindung mit E-W-Einengung zu domartigen Strukturen, die bereits bei STRAUSS (1954) beschrieben wurden. Kompression in E-W bzw. Dehnung in N-S (B2-System) schließlich geht aus Aufschiebungen entlang N-S-streichenden Flächen und aus kleinen E-W-verlaufenden Gräben hervor.
Aufgeschlossene und erbohrte Großabschiebungen in N-S-Richtung führten zu der Annahme, daß das Erzbecken ein N-S-orientierter Graben sei. Dagegen spricht, daß der durch die östliche Farmgrenze bedingte N-S-Abbau im N (E Sishen) nach NW umbiegt.
Probebohrungen der Firma Iron and Steel Corp. (ISCOR) waren nördlich der 150°-Lineamente nicht mehr fündig, wohl aber im Nordwesten (Nordbereich der Ortschaft Sishen) (s.Anhang II/2). Diese Bereiche liegen innerhalb der begrenzenden 150°-Lineamente. Die Tatsache, daß Erz zwar östlich und westlich des angenommenen N-S-Grabens ansteht, nicht aber, wie zu erwarten wäre, in der nördlichen Verlängerung desselben, weist deutlich darauf hin, daß es sich bei der N-S-Grabenbildung um ein jüngeres Ereignis handelt (Abb. 6.11).
Es handelte sich also um ein durch 150°-gerichtete Abschiebungen gebildetes Becken, welches zur Erzablagerung führte, während ein Graben in N-S-Richtung zur Konservierung der großen Mächtigkeiten beitrug. Durch Überprägung des älteren Beckens durch den jüngeren Graben kommt die charakteristische S-Form der Sishener Erzlagerstätte zustande.

Zusammenfassend ist für die Erzgenese der Lagerstätte Sishen wichtig:

1. Anlage eines Karstsystems

2. Bildung eines durch ca. 150°-streichende Lineamente begrenzten Erzsedimentationsbeckens (Tiefstruktur). Größte Erzmächtigkeiten in den tiefsten Bereichen, d.h. in bereits eingebrochenen "Sinkholes" am Beckenboden.
3. Ausbildung eines N-S-gerichteten Grabens durch E-W-Dilatation (B1-System) (Erzkonservierung).

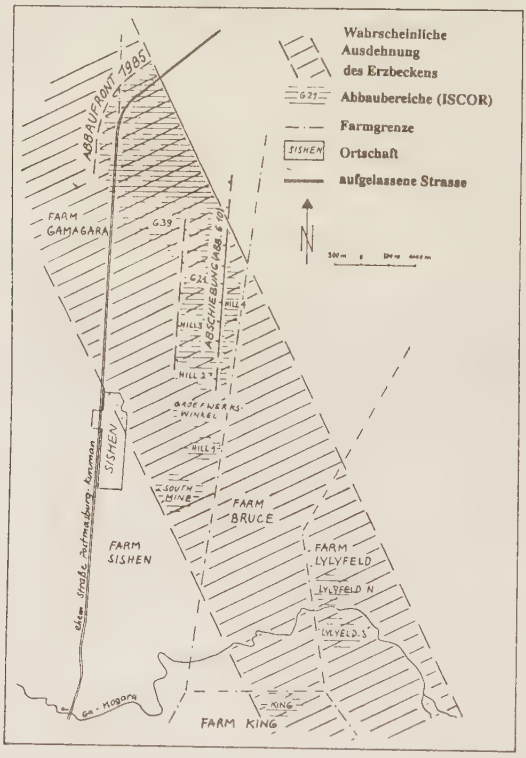


Abb. 6.11: Skizze der Eisenlagerstätte Sishen.

6.3. Kalahari-Mangan-Feld

Die Untersuchungen im Kalahari-Mangan-Feld lassen ebenfalls eine in verschiedenen Phasen abgelaufene tektonische Formung erkennen. Dafür gibt es vor allem im Gelände eindeutige Anhaltspunkte, die in den kleintektonischen Diagrammen (Anhang III 2) durch die

Kluftkonfigurationen klar zum Ausdruck kommen. Sie sind aber auch sehr hilfreich bei der Verifizierung der Kluftverteilungen.
Drei Hauptformen der tektonischen Prägung sind vor allem in den Bereichen Black Rock (Belgravia, Santoy und N'chwaning), Hotazel und Mamatwan zu erkennen: Faltenstrukturen mit Überschiebungen, Dehnungsstrukturen (Grabenbildung und Boudinierung) und Horizontalverschiebungen, Harnischtapeten und Striemung mit Abrißkanten zeigen Horizontal- und Vertikalbewegungen an.
In den kleintektonischen Diagrammen sind alle drei Richtungssysteme abgebildet.
Wie bereits beschrieben (Kap. 5.3.) wird während der Ablagerung der Cox Gruppe ein fundamentales Gefüge in B2-Richtung interpretiert und damit von einer N-S-Erstreckung des Sedimentationsbeckens ausgegangen.
Während der folgenden post-Matsap-Deformation kam es zu ausgeprägter Verfaltung und Bruchbildung. W-E-Einengung führte zur Ausbildung einer B2-Faltung mit nach E überkippten Achsenflächen. Vermutlich gleichzeitig mit der Faltung wurden flach liegende Überschiebungsbahnen angelegt, die zur Verschuppung der Banded Ironstones (Voelwater Jasper Formation) und der zwischengelagerten Manganerzkörper führten. Die Überschiebungen fallen nach Westen ein und werden mit h012-Flächen korreliert. Dadurch wird das Bild der Abbauhorizonte stark kompliziert, da die einzelnen der ursprünglich drei Erzkörper (BOARDMAN 1964) durch Stapelung nicht mehr exakt ansprechbar sind. Dies hat für die Frage, ob zum Liegenden hin weitere Erzlagen anzutreffen sind, entscheidende Bedeutung.

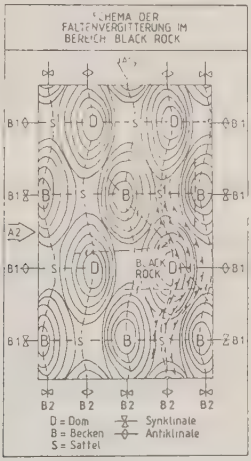


Abb. 6.12: Schematische Darstellung der Faltenvergitterung im Bereich Black Rock mit angedeuteter Überschiebungstektonik und Ostvergenz der Faltung.

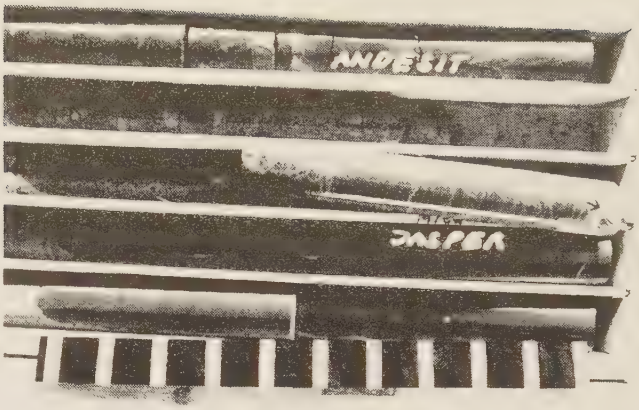
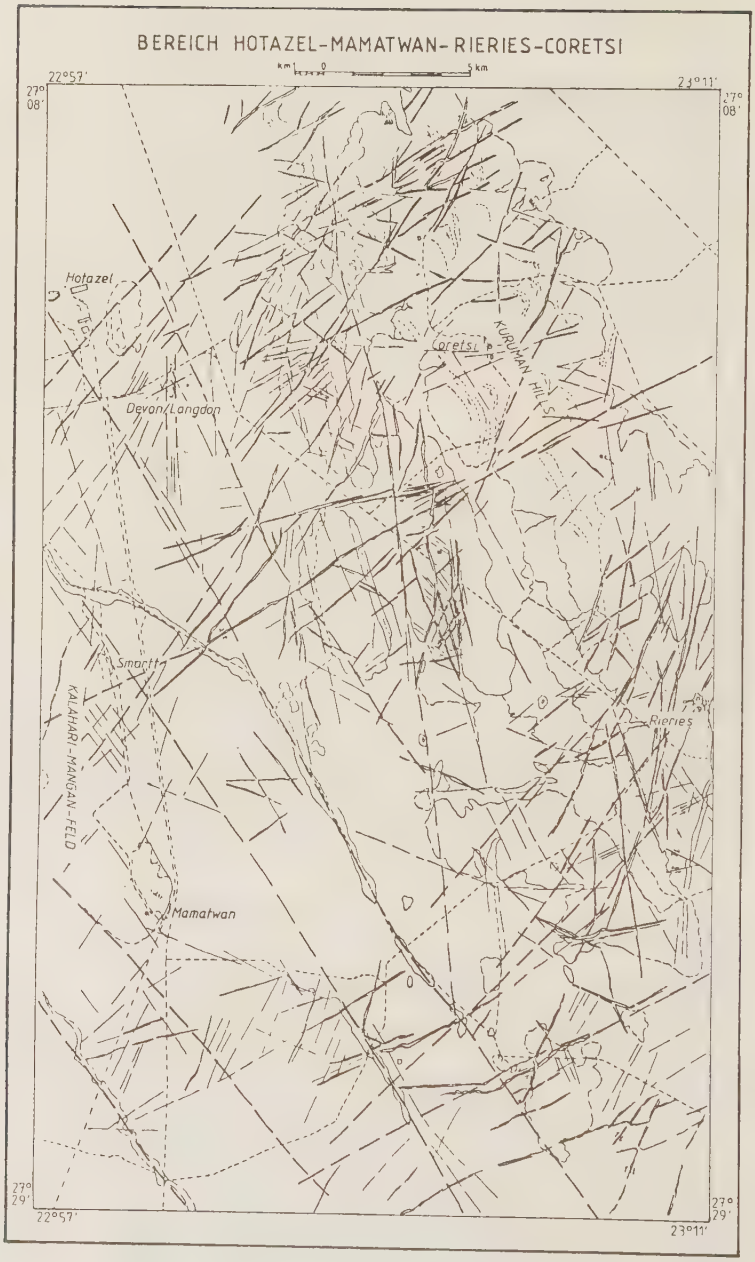


Abb. 6.13 a: Gestörter Kontakt der Ongeluk Andesite und Voelwater Jasper; Bohrkern M2 bei 387 m aus dem Mangan-Abbau Middelplaats, Fa. Anglo American Co.

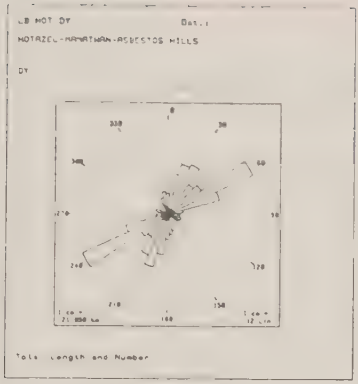
Abb. 6.13 b: Gestörter Kontakt der Ongeluk Andesite und Voelwater Jasper westl. der Kuruman Hills bei Riries; Bohrkern der Fa. GEFCO, Kuruman.

Abb. 6.13 c: Gestörter Kontakt (Mylonit) an der Grenze Voelwater Jasper - Mooidraai Dolomit; Bohrkern M2 bei 280 m aus dem Mangan-Abbau Middelplaats, Anglo American Co.

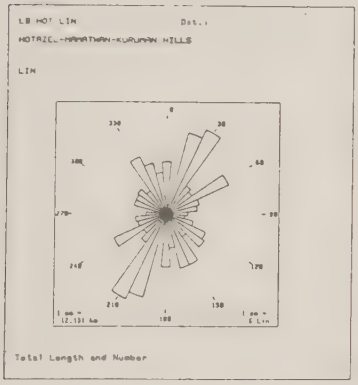
Auch der Kontakt zu den liegenden Ongeluk Laven ist häufig gestört, erkennbar an den zum Teil mehrere Meter mächtigen Brekzienhorizonten in verschiedenen Bohrkernen (Abb. 6.13a, b, c). In den höheren Abfolgen, wie an der Grenze der Banded Ironstones und des Mooidraai Dolomits kam es infolge der Überschiebungstektonik ebenfalls zu Bruchbildung und Brekziierung.
Diese Überschiebungen sind mit einer Störungszone östlich Olifantshoek (vgl. Kap. 6.7) korrelierbar, in der aufgrund von W-E-Kompression, Verschuppung und Brekziierung in der Cox Gruppe auftritt. Auch die Lucknow Formation in diesem Bereich zeigt ähnlichen Deformationsstil.
Bei W-E-Einengung sind die 0kl1-Flächen zumindest zeitweise auch als steil stehende h012-Aufschiebungen zu betrachten. Sie entsprechen damit den antithetischen Aufschiebungen (reverse faults) BOARDMANs (1964) bzw. den z.T. aufschiebenden Schollenbrüchen P.R. DE VILLIERS'(1970).
Als weitere Auswirkungen von W-E-Einengung bzw. N-S-Dehnung sind noch N-S-verlaufende Spezialfaltenachsen (Black Rock) und E-W-gerichtete Kleingräben, an denen auch Horizontalbewegungen stattfanden (Devon-Langdon), zu beobachten.
Einwirkung N-S-gerichteter Einengung führte durch Verfaltung mit E-W-streichenden Achsen zu Faltenvergitterung. Abb. 6.12 zeigt schematisch die Deformation der Voelwatersedimente im Bereich Black Rock durch zwei aufeinander senkrecht stehende Faltungsphasen (B1-F und B2-F).
Erkennbar ist ein System von Dom- und Beckenstrukturen mit zwischengelagerten Sätteln. Die Faltung mit E-W-streichenden Faltenachsen besitzen große Wellenlänge, die Faltung mit N-S-streichenden Faltenachsen ist dagegen eng, und die Achsenebenen sind nach Osten überkippt. Umlaufendes Streichen der Schichtflächen ist sowohl unter (W. GROBBELAAR, Minengeologe, frdl. mündl. Mittlg.) als auch über Tage angezeigt. Ein ähnliches Bild zeigt die Lagerstätte Hotazel. In einem relativ engen N-S-gerichteten Becken sind zwei Teilbecken mit E-W-Achsenrichtung und größerer Spannweite durch die Erzkörper dokumentiert (BOARDMAN 1964, P.R. DE VILLIERS 1970). Außerdem gibt es weitere Anzeichen wie Pinch-und-Swell-Strukturen (Hotazel) für E-W-Dehnung.
Zusätzlich zu den B1-F-Gefügen ist in weiten Bereichen auch Bruchtektonik angezeigt. Sie wird in den tektonischen Diagrammen durch starke ac1-Flächen, begleitet von 0k1-Maxima, vor allem in den Bereichen Hotazel und Devon-Langdon, belegt. Hier wirkten die N-S-streichenden 0k1-Klüfte zumindest zeitweise abschiebend. Dadurch entstanden kleinere Gräben, in denen diese von den Hauptvererzungsbereichen getrennt liegenden Lagerstätten vermutlich konserviert (P.R. DE VILLIERS 1970, NEL et al. 1986) wurden. Ähnliche Strukturen prägen auch die Lagerstätte im Abbau Wessels, nordöstlich Black Rock gelegen. Dieser wird durch ±N-S-verlaufende Störungsscharen in meist synthetische Schollentreppen gegliedert (R.ARNOT, Minengeologe, frdl. mdl. Mitt.).
Auch im Bereich des Kalahari-Mangan-Feldes scheint dem B3-Richtungssystem eine besondere Bedeutung zuzukommen. Zurückzuführen ist dieser starke B3-Einfluß auf die Grundprägung des Gesamtgebietes und des unterlagernden Dolomits durch einen Beanspru-


BEREICH HOTAZEL-MAMATWAN-RIERIES-CORETSI
km 1 0 1 5 km
22°57'
23°11'
27° 08'
27° 29'
Hotazel
Coretsi
KURUMAN HILLS
Devon/Langdon
Smartt
KALAHARI-MANGAN-FELD
Rieries
Mamatwan

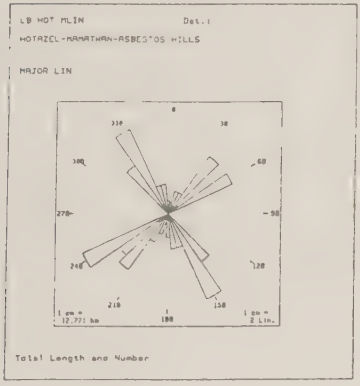
a



b



c



d

Abb. 6.14 a-d:
Photogeologische Kartierung des Bereichs Hotazel-Mamatwan-Riries-Coretsi mit der richtungsmäßigen Darstellung der verschiedenen Strukturen:
a) Photogeologische Karte
b) Großlineamente
c) Lineamente allgem.
d) Gangsysteme

chungsplan mit NW-SE-liegender maximaler Hauptbeanspruchung und die wiederholte Reaktivierung. Häufig sind die ac3-Richtungen durch die Hauptmaxima dargestellt.

Harnische und Striemung (vertikal und horizontal) auf ac3-Flächen weisen auf unterschiedliche Bewegungen bzw. spätere Reaktivierung durch ein neu orientiertes Streßfeld hin. Die in der Manganlagerstätte Mamatwan aufgeschlossene Störungszone (Fissure Zone), welche eine intensiv beanspruchte, mehrere Meter mächtige Bruchzone darstellt, streicht 150°. Sie weist blank polierte Harnische auf, und Striemungsrillen belegen sowohl vertikale (B3) als auch horizontale (B1) Bewegungen. Entsprechende Strukturen finden sich auch in Black Rock und Middelplaats in großer Anzahl.
Neben der generellen N-S-Beckenrichtung im Bereich des Kalahari-Mangan-Feldes deuten die Konturlinien gleicher Schichtmächtigkeiten des Erzlagers in Mamatwan (NEL et al. 1986) auf Spezialbecken mit NW-SE-orientierter B-Achsenrichtung hin.
Die Ausdehnung eines Glazialtales der permo-karbonischen Dwyka Vereisung (Karoo Zeit) mit bis zu 600 m mächtigen Tilliten und Tonschiefern erstreckt sich in NNW-SSE-Richtung (J. DE VILLIERS 1960, P.R. DE VILLIERS 1970). Die anhaltende Bedeutung des B3-Systems kommt damit klar zum Ausdruck.
Eine Aufnahme der tektonischen Bruchstrukturen in einer Luftbildauswertung aus dem Bereich Hotazel-Mamatwan-Riries-Coretsi (Abb. 6.14a) zeigt ein komplexes Bild unterschiedlicher Strukturen, welche die beschriebene geologische Situation verdeutlichen. Dominant ist ein Paar orthogonaler Großlineamente in NW-SE- und NE-SW-Richtung, das mit dem B3-System der kleintektonischen Auswertung korrelierbar ist (Abb. 6.14b). Vor allem die WSW-ENE-Lineamente werden von der Hauptzahl der jüngeren Gangscharen nachgezeichnet (Abb. 6.14d), was auf eine Reaktivierung der bc3-Richtung zum Zeitpunkt des Aufdringens der Gangschwärme schließen läßt. Doch auch die Gangsysteme in NNE-SSW sind gut entwickelt.
Wegen des Fehlens einer richtungs- und altersmäßigen Kartierung der verschiedenen Gangsysteme lassen sich hieraus keine eindeutigen Hinweise auf die aktiven Phasen bestimmter tektonischer Beanspruchungen ableiten. Eine Ausnahme stellen ENE-WSW-streichende Gänge in den Manganlagerstätten Middelplaats (P.R. DE VILLIERS 1970) und Hotazel (BOARDMAN 1964) dar. Sie enden an den Sedimenten der Dwyka-Vereisung und sind so als prä Karoo festgelegt (post-Matsap-Deformation?).
Die Lineamentauswertung zeigt ein Hauptmaximum in NNE-SSW-Richtung, das zusammen mit ENE-WSW- und NNW-SSE-verlaufenden Lineamenten einem B1-Richtungssystem zugerechnet werden kann. Außerdem läßt sich aus den 60°- und 150°-Maxima das orthogonale System der Großlineamente wiedererkennen. Schließlich stellen die 60°- und 120°-verlaufenden Lineamente die Scherrichtungen der W-E-Einengung (B2-System) dar (Abb. 6.14c).

6.4. Asbestos Hills Banded Ironstone Formation (BIF) und Ghaap Plateau Dolomit

Diese beiden Einheiten weisen i.d.R. einen relativ ruhigen tektonischen Baustil auf. Auch hier lassen sich die tektonischen Phänomene wieder den drei erarbeiteten Beanspruchungssystemen zuordnen.
Während auf der Karbonatplattform Bruchtektonik begleitet von einer weitgespannten Aufwölbung in NE-SW-Richtung vorherrscht, ist in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation auch Faltung nachweisbar, die aber in den kleintektonischen Diagrammen (Anhang III 4) kaum zum Ausdruck kommt.
Die Diagramme der Ghaap Plateau Dolomit Formation weisen ein deutliches fundamentales Gefüge in B3-Richtung (B3-ss) auf. Starke ac3-Klüfte werden von 0kl-Flächen begleitet, die in diesem System als Abschiebungen gedient haben können.
Das fundamentale Gefüge in B3-Richtung, korreliert mit den Ergebnissen der kleintektonischen Erhebung in den Dolomiten auf dem Maremane Dom (Kap. 6.1.), impliziert eine NE-SW-orientierte Bekkenachse.
Deutlich nachweisbare tektonische Beanspruchungen, welche dem B1-Richtungssystem zugeordnet werden, sind v.a. durch N-S- bis NNE-SSW-streichende Gangsysteme dokumentiert. Sie deuten E-W-Dilation an, und die im Luftbild oft zu beobachtende en-échelon-Anordnung weist nach, daß sie an Fiederspalten-artigen Brüchen aufgedrungen sind. Daran wiederum lassen sich syngenetische oder aber auch ältere Bewegungen an diesen Brüchen ablesen.
Die E-W-Dehnung verursachte aber auch Abschiebungen in 0kl1-Brüchen, die in der Kalklagerstätte Lime Acres südlich Danielskuil Staffelbrüche mit Sprunghöhen bis zu 50 Metern zur Folge hatten (J. WOTHERSPOON, Minengeologe; frdl. mündl. Mittlg.)
Eine Reaktivierung von älteren ac3-Trennbrüchen während N-S-Einengung wird durch horizontale Harnischstriemung auf den Brüchen deutlich.
Während das fundamentale Gefüge in B3-Richtung (B3-ss) eindeutig zeitlich einzuordnen ist (Campbell Zeit), lassen die Schichtlücke und das Fehlen von Altersdatierungen für die Gänge auf dem Ghaap Plateau keine genaueren Aussagen über das Alter der B1-Beanspruchungsphase(n) zu.
Das primäre Gefüge in den Asbestos Hills Abfolgen ist deutlich in N-S- bzw. E-W-Richtung orientiert. Dies läßt u.a. auf Becken mit N-S-gerichteten Beckenachsen, wie synsedimentäre Rutschgefüge ("convolute bedding") (Abb. 6.15) anzeigen. Solche Schwerefaltungsstrukturen, die den von DENNIS (1972, S. 84) beschriebenen sedimentären "slump structures" entsprechen, sind auch in der Finsch Diamond Mine, in Owendale westlich Danielskuil und in Coretsi nordwestlich Kuruman zu beobachten.
Die orthogonale Kluftstellung in Richtung des Sedimentationsbeckens und senkrecht dazu legt die hier vertretene Interpretation der Hauptbruchrichtungen in den Asbestos Hills Banded Ironstones als fundamentales Gefüge mit späterer Reaktivierung nahe (Abb. 6.17 b).

Abb. 6.15: Synsedimentäre Rutschfaltung in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation westl. Griquatown (Farm Middelplaas).

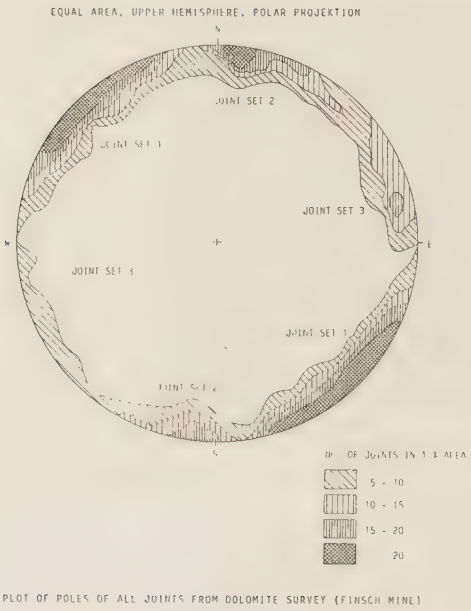
Abb. 6.16: Großklüftung in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation südl. Griquatown (Farm Grootdoorn).

Die Anlage eines N-S-gerichteten Sedimentationsbeckens erfolgte während der frühesten für das Arbeitsgebiet nachweisbaren Aktivitätszeit des B2-Beanspruchungssystems (W-E-Einengung) zu prä bzw. früh Asbestos Hills Zeit. Auch die Anlage der beiden Großsynklinorien Dimoten- und Ongeluk-Witwater-Synklinorium mit NNW- bzw. NNE- verlaufender Beckenachse zeigen den Einfluß dieser frühen B2-Faltungsphase (B2-F).

früh Asbestos Hills Zeit. Auch die Anlage der beiden Großsynklinorien Dimoten- und Ongeluk-Witwater-Synklinorium mit NNW- bzw. NNE- verlaufender Beckenachse zeigen den Einfluß dieser frühen B2-Faltungsphase (B2-F).
Gegliedert werden die N-S-Becken durch E-W-verlaufende Schwellen. Diese werden durch unterschiedliche Mächtigkeiten des Kuruman Gliedes, das durch den 'Main Marker' nach oben hin begrenzt ist, belegt (HANEKOM 1966, D. DELPORT & F. KALP sowie S. VAN DER MERVE, Minengeologen der Firmen DCBA: Danielskup Cape Blue Asbestos und KCBA: Kuruman Cape Blue Asbestos; frdl. mündl. Mitteilungen). Sie kamen durch eine Wellung (B1-F) während der frühen N-S-Kompression zur späten Campbell Zeit zustande.
Die frühen Asbestos Hills Abfolgen sind häufig klein verfaltet mit einem B-Achsenstreichen zwischen NW und NE. Die Falten sind nach Osten überkippt, und an den West-fallenden Achsenflächen zeigen sich oft Überschiebungstendenzen. Ihre Entstehung ist auf W-E-Kompression (B2-Beanspruchungssystem) zurückzuführen. In den Asbestos Hills auftretende Asbestvererzung ist an diese gefalteten Bereiche gebunden (BEUKES 1986, HANEKOM 1966). Das Auftreten von Asbestbrocken in den Sishenerzen, die ebenfalls in die Asbestos Hills Banded Ironstone Formation gestellt werden, läßt diese Phänomene auch der prä bis früh Asbestos Hills B2-Beanspruchungsphase zuordnen (Abb. 4.4).
Da die terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen i.d.R. dem Bereich wenig verfalteter Sedimente entstammen, ist die B2-Faltungsphase nur durch Klüfte in den tektonischen Diagrammen dargestellt. Die Orientierung der B-Achsen wurde durch symmetrologische Betrachtungen und über sekundäre Hilfsmittel (Luftbild) indiziert.
Die relativ jüngeren Lagen der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation sind dagegen z.T. unverfaltet und besitzen eine weit durchhaltende Großklüftung (Abb. 6.16). Diese unverfalteten $\pm$ horizontal liegenden gebänderten Eisensteine werden als Werkstein (Dimension Stone) abgebaut.

Zum Vergleich der tektonischen Formung zwischen Ghaap Plateau Dolomit Formation und Asbestos Hills BIF wurde ein Kluftdiagramm aus dem Dolomit der Finsch Diamond Mine (Aufnahme durch Minengeologen, Intern. Rep. der DE BEERS CONSOLIDATED MINES) und der BIF der eigenen Aufnahme gegenübergestellt (Abb. 6.17 a,b).
Der klare Unterschied in den Kluftkonfigurationen ist offensichtlich. Während der Dolomit eine Hauptprägung durch NE-SW- (Joint Set 1), E-W- (Joint Set 2) und NW-SE- (Joint Set 3) streichende Klüfte aufweist, zeigt die Asbestos Hills Banded Ironstone Formation ein Gefüge mit N-S- und E-W-streichenden Kluftmaxima, das als fundamentales Gefüge interpretiert wird.

Auch die im Gelände aufgeschlossenen Strukturen lassen sich gut den drei Richtungssystemen zuordnen. Im Grubenbereich der Finsch Mine auftretende NNW-SSE-streichende Blattverschiebungen (brecciated wrench faults) werden in Verbindung mit E-W-verlaufenden



PLOT OF POLES OF ALL JOINTS FROM DOLOMITE SURVEY (FINSCH MINE)

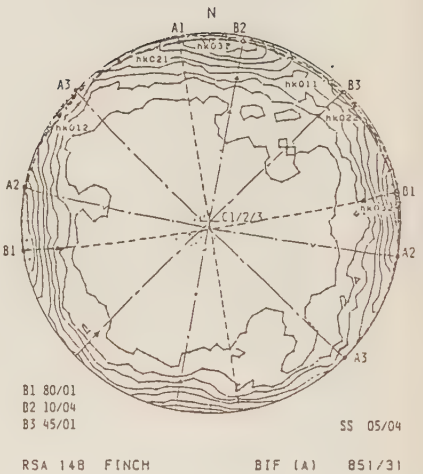


Abb. 6.17 a: Abb. 6.17 b:

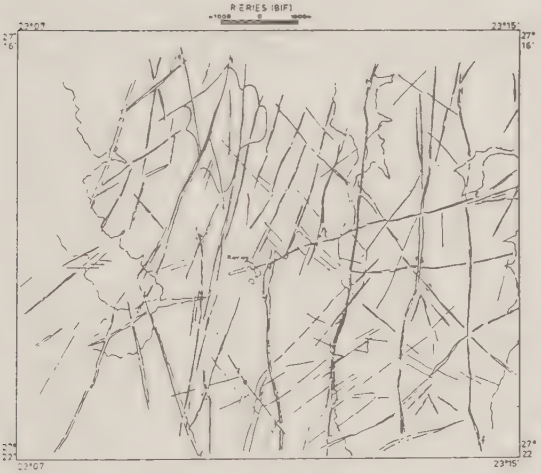
Abb. 6.17 a: Kluftdiagramm aus der Ghaap Plateau Dolomit Formation in der Finsch Diamond Mine nach Unterlagen der DE BEERS CONSOLIDATED MINES. Die Darstellung ist fehlerhaft, da die Isolinien der Kluftdichten im Bereich der vertikalen Klüfte nicht übereinstimmen (keine Punktsymmetrie!). Wahrscheinlich fehlen die vertikalen bzw. ± vertikalen Klüfte.

Abb. 6.17 b: Kluftdiagramm der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahme aus der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation in der Finsch Diamond Mine der eigenen Aufnahme.
A1, B1, C1 usw. stellen Gefügeachsen (Anhang IV) der verschiedenen Richtungssysteme B1, B2, B3 (Kap. 4.1 & 5.2) dar.

Falten dem B1-System zugeordnet. Eine Aufdomung im Bereich der Mine mit E-W- und N-S-Achsenrichtungen zeigt B1-F-Beanspruchung (E-W-Achse) und B2-Faltung an, welche weiter durch N-S-streichende Schleppfalten und E-W-Dehnungsbrüche belegt ist.
N-S-orientierte Grabenstörungen westlich Kuruman (Abb. 6.18 b),

Abschiebungen in N-S-Erstreckung mit Sprunghöhen bis 80 m (Owendale Asbestos Mine) und Gangsysteme mit E-W-Dehnung zeigen in post Asbestos Hills Zeit Beanspruchung mit N-S-gerichteter Hauptnormalbeanspruchung.
Für die E-W-Einengung dagegen sprechen N-S-Falten, Faltenüberschiebungen und streichende Aufschiebungen.
Schließlich zeugen die NW-SE-verlaufenden Großstörungen, die den Gebirgskörper in einzelne Blöcke zerlegen (siehe auch Anhang I 1 und II 2), vom Einfluß des B3-Richtungssystems.

Ein Vergleich der Richtungsverteilungen von Gängen und Störungen, die von HANEKOM (1966) kartiert wurden (Abb. 6.18 c) weist eine hohe Übereinstimmung mit den Ergebnissen einer Luftbildauswertung aus den Bereichen Riries und Whitebank (Abb. 6.18 a,b) auf. Die Hauptrichtungen sind nahezu identisch und stimmen mit denen im westlichen Vorland (Abb. 6.14) überein.



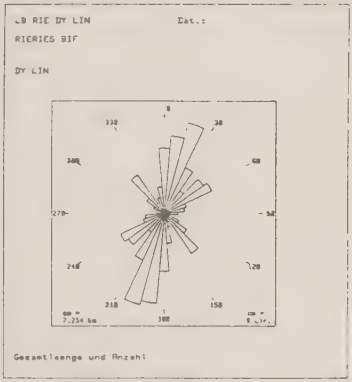


Abb. 6.18 a: Luftbildkartierung des Bereiches Riries und Richtungsverteilung von Lineamenten und Gangsystemen.

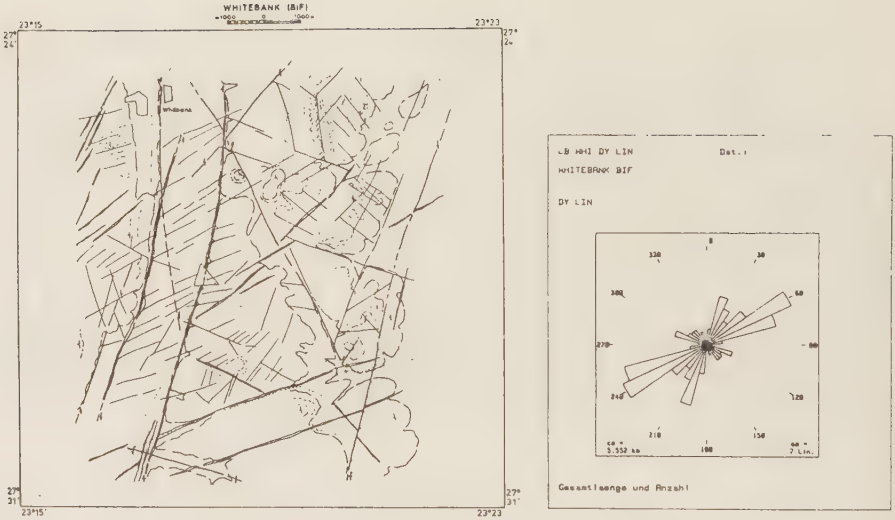


Abb. 6.18 b: Luftbildkartierung des Bereichs Whitebank und Richtungsverteilung von Lineamenten und Gangsystemen.

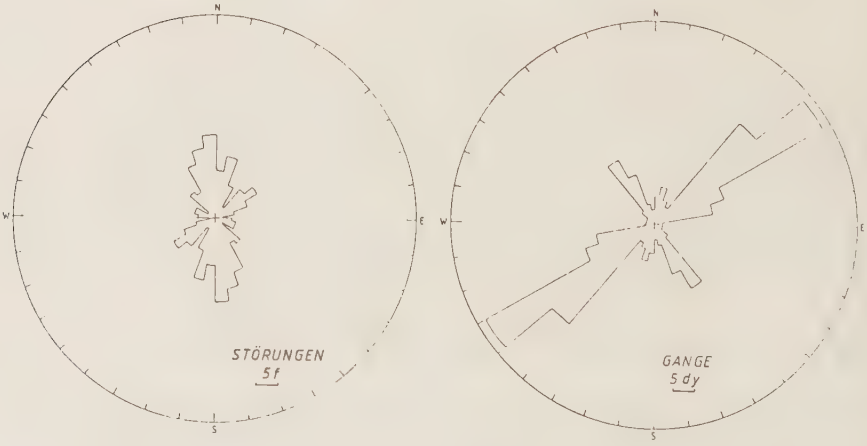


Abb. 6.18 c: Richtungsverteilung der im Gelände kartierten Störungen und Gänge in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation. Aus HANEKOM (1966).

6.5. Rooinekke Lagerstättenbereich

Die photogeologische Karte in Abb. 6.19 zeigt die Lage der Rooinekke Mine und ihre Umgebung mit der Verbreitung der verschiedenen stratigraphischen Einheiten und den wesentlichen tektonischen Strukturen. Hier wird bereits deutlich, daß die entscheidende Formung des Gebietes durch eine W-E-Beanspruchung (B2-Richtungssystem) erfolgte.
Zusätzlich zeigen die kleintektonischen Diagramme ein ausgeprägtes orthogonales Kluftgefüge in B3-Richtung (B3-ss). Daraus läßt sich ableiten, daß für die Koegas Formation eine Beckenachse in NE-SW-Richtung und damit eine primäre Beanspruchung wie während der Sedimentation der Campbell Dolomit Formation anzunehmen ist. Dies wird auch durch die Feststellung BEUKES'(1983) gestützt, daß das NW-SE-streichende Griquatown Lineament während der Koegas Zeit eine aktive Abschiebung ("active growth fault") darstellte.
Die spätere tektonische Beanspruchung in B2-Richtung fand wohl größtenteils während der post-Matsap-Deformation statt und läßt sich im Minenbereich an vielen geologischen Phänomenen bestätigen.
Hervorragend sind Überschiebungsbahnen erkennbar, die N-S-streichen, meist flach nach Ost einfallen und in einem spitzen Winkel zu den Schichtflächen oder in der Schichtung verlaufen (Abb. 6.20 Bild 2). Etwas komplizierter stellen sich die Strukturen in Bild 1 dar, da die Überschiebungsbrüche nur vermutet werden können. Durch Kartierung der einzelnen Sedimentbänke an diesen "Wickelstrukturen" (Abb. 6.21) wird deutlich, daß die Schichtverbiegungen Schleppungen an flach bis mittelstark nach Osten einfallenden Überschiebungen darstellen. Die Spannungstensoren belegen eine W-E-Kompression.
Senkrecht zu diesen spannungsanzeigenden Strukturen sind deutliche "pinch-and-swell-Strukturen" ausgebildet, die eine Dehnung in N-S-Richtung verraten (Abb. 6.20 Bild 3).
Im gesamten Minenbereich findet man stark deformierte bis brekziierte gebänderte Eisensteine, die auf eine intensive tektonische Formung schließen lassen. Aus diesem Grund wird für den in Abb. 6.20 Bild 4 erkennbaren Brekzienhorizont ebenfalls eine tektonische Ursache, die möglicherweise mit der Überschiebungstektonik in Zusammenhang steht, angenommen.
Es liegt die Vermutung nahe, daß die isolierten, unverfalteten Lucknow Quarzite (Abb. 6.19), die diese Brekzie überlagern, weiter westlich abgelagert wurden und während der post-Matsap-Deformation in die heutige Position geschoben wurden. Die im Westen anstehenden Lucknow Serien sind dagegen intensiv isoklinal verfaltet.
In den kleintektonischen Diagrammen (Anhang III 4) ist die B2-Faltungs- und Überschiebungstektonik vor allem durch starke h01-Klüfte angezeigt. Wo diese nicht auftreten, liegen wahrscheinlich ± schichtparallele Überschiebungsbahnen, wie oben beschrieben, vor.

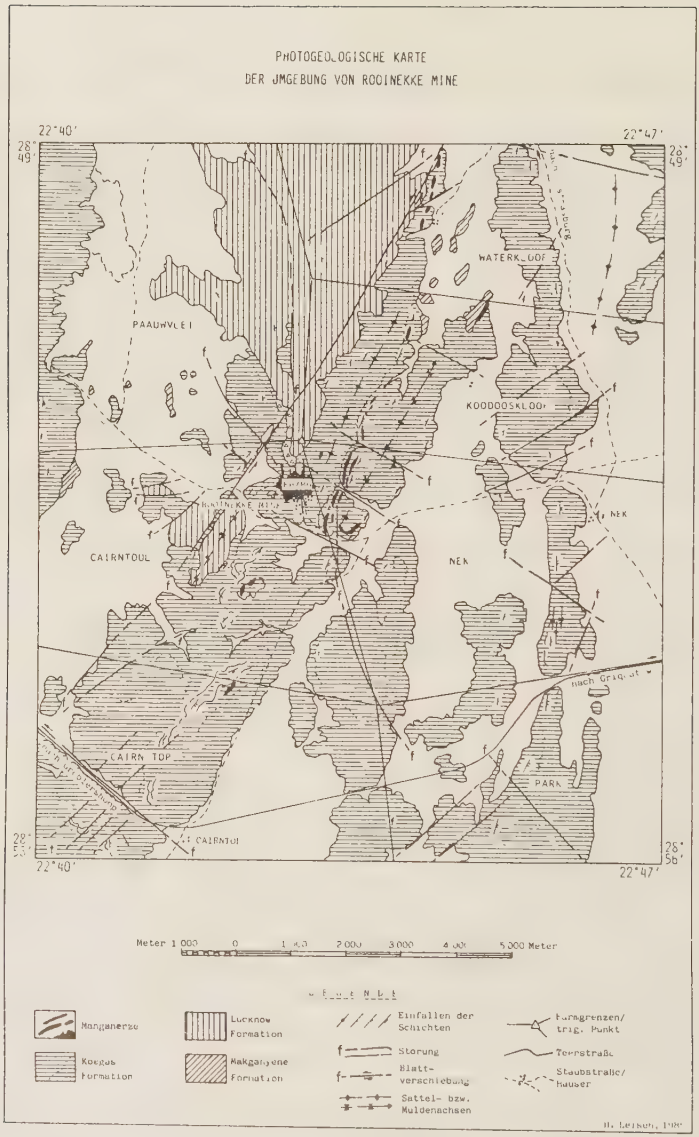


Abb. 6.19: Photogeologische Karte der Umgebung von Rooinekke Mine (J. De VILLIERS, 1960; überarbeitet und verändert anhand eigener Geländeuntersuchungen und Luftbildauswertungen).

Skizze der Fe-Mn-Lagerstätte Rooinekke ('Westberg') mit Abbildungen der tektonischen Strukturen

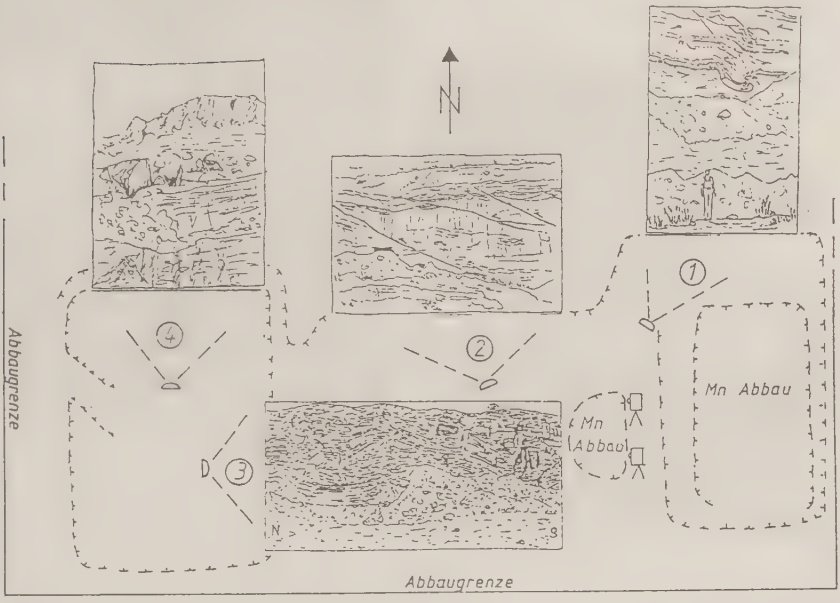


Bild 2: Ost-fallende Überschschiebungen im Ostbereich des Abbaus

Abb. 6.20: Schematischer Minenplan des Eisen-Mangan-Abbaus Rooinekke mit der Lage der tektonischen Strukturen aus den Bildern 1-4.

Bild 4:
Brekzienhorizont über Tonschiefern; die Kuppe wird durch Lucknow Quarzite gebildet.

Bild 1:
Überschiebung im Ostbereich des des Abbaues (vgl. Abb. 6.21).

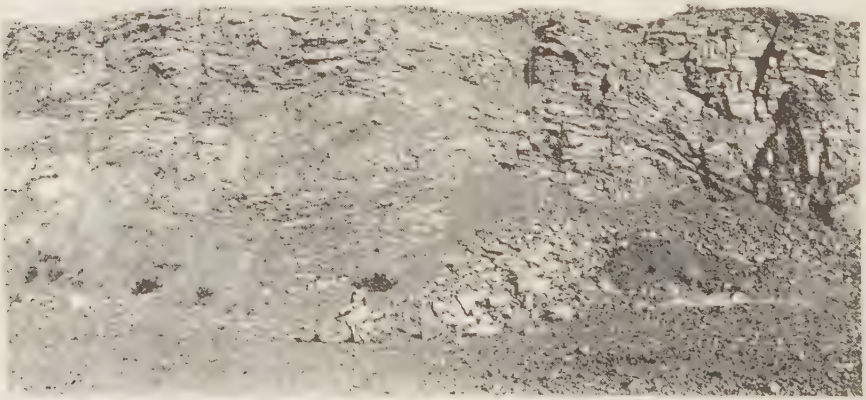


Bild 3: "Pinch und swell" Strukturen senkrecht zur Einfallsrichtung der Überschiebungen

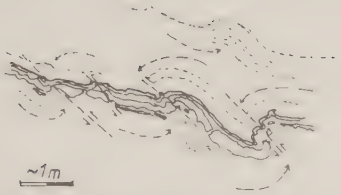


Abb. 6.21: Ausschnittsskizze aus Abbildung 6.20 Bild 1 mit den die Überschiebungen anzeigenden Strukturen.

6.6. Bereich Koegas-Prieska

Die tektonischen Strukturen im Bereich Koegas bis Prieska zeichnen sich durch großen Formenreichtum aus. Sie sind großteils in der Luftbildkartierung (Abb. 6.22) enthalten. Die detaillierte-sten geologischen Arbeiten in diesem Gebiet stammen von VAJNER (1974 a und b).
Mehrere Faltungsphasen führten zu Sattel- und Muldensystemen, die durch beidseitiges Abtauchen Dom- und Beckenstrukturen bilden.
Die früheste heute noch erkennbare Deformation ist eine weite offene Faltung, die durch Schweregleitung (VAJNER 1974 a und b) verursacht wurde und deren Faltenachsen NE-SW verlaufen.
Wie bereits in Kap. 4.6.3. beschrieben, stellte das ca. 150°-streichende Griquatown Lineament während der Koegas Zeit eine aktive Abschiebung dar ("active growth fault" BEUKES' 1978). Auch die Analyse der Gefügediagramme zeigte, daß für das Koegas Becken eine Hauptbeckenachse in NE-SW-Richtung anzunehmen ist (B3-ss-Gefüge) (s. Anhang III 5).
Gleichzeitig mit der Gleitfaltung entwickelten sich Rutschgefüge, die von VAJNER (1974 a) als synsedimentäre Boudinage Strukturen beschrieben werden, und die eine Art Pseudokonglomerat ausbilden (Abb. 6.24 b). Diese sedimentäre Boudinage ist jedoch eindeutig von Boudins zu unterscheiden, welche tektonische Beanspruchung anzeigen.
Ein Beispiel für tektonische Boudinage ist in der "Blue Bank" des Weilbach Members der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation am Übergang zur Koegas Formation zu sehen (Abb. 6.24 a). Hier wurden die kompetenten Chertlagen zerrissen, während die hämatitischen Tonschieferlagen plastisch verformt wurden. Diese Verformung ist Ausdruck der post-Matsap-Deformation, der W-E-gerichteten Einengung (B2-Richtungssystem). Hierbei wurde die ältere Gleitfaltung akzentuiert und teilweise kam es zu Überkippungen früher angelegter Faltenstrukturen (Abb. 6.22).

Schleppungen der verschiedenen Sattel-Mulden-Systeme (B2- und B3-Faltungen) östlich der Doringbergstörung weisen auf eine weitere W-E-Beanspruchung (B2-System) nach der post-Matsap-Deformation hin.

Abb. 6.22: Photogeologische Karte der Ghaap Plateau Dolomite, der Asbestos Hills Banded Iron Stone, der Koegas Jaspillite und der Ongeluk Andesite Formationen im Bereich Koegas.

Die kleintektonischen Diagramme (Anhang III 5) zeigen außer dem B3-ss-Gefüge deutliche Beanspruchungspläne mit N-S- bis NNE-SSW-orientierter maximaler Hauptbeanspruchung (B1-sh- bzw. B1-F-Gefüge) mit z.T. sehr starken hk0-Klüften. Für eine N-S -Einengung (B1-System) spricht auch die nach PRETORIUS (1979) durchgängig dextrale Verschiebung an den Störungen des Doringberg Lineaments.

Durch diese Verschiebung weisen die Ventersdorp Laven und die älteren Griqualand West Abfolgen einschließlich der Koegas Formation im Bereich westlich Koegas einen Versatz von ungefähr 9,5 km auf (Abb. 6.22 und Anhang II 2).

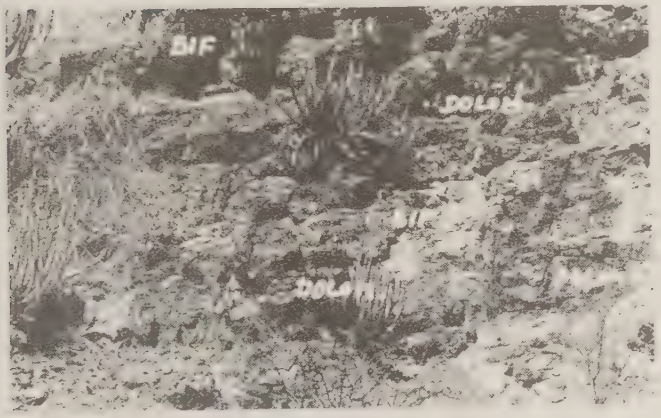


Abb. 6.23:
Intensiv beanspruchter Ghaap Plateau Dolomit, der mit gebänderten Eisensteinen der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation verschuppt ist; Aufschluß am Orange River westlich Koegas im Bereich der Dooringberg Lineamentzone.

Abb. 6.24 a:
Boudinage in der Blue Bank (Hangende Asbestos Hills Banded Ironstone Formation) im Westerbergsynklinorium.

Abb. 6.24 b: Pseudokonglomerat und sedimentäre Boudinage in der Asbestos Hills Banded Ironstone und Koegas Jaspilite Formation (aus VAJNER 1974 a, Abb. 11 S. 106 und Abb. 14, S. 113).

Ebenfalls für eine N-S-Einengung mit weiter offener Faltung sprechen die zweiseitig abtauchenden Faltenachsen (z.B. Sattel SE-Koegas, Abb. 6.22). Bei VAJNER (1974 a) ist diese Faltenvergitterung (B1-F- mit B2-F- bzw.B3-Gleitfaltung) in den Schichtflächendiagrammen, die z.T. in der BIF, aber hauptsächlich in den Matsap Quarziten aufgenommen wurden, dargestellt.
Dies weist auf das Auftreten des B1-Beanspruchungssystems nach der Matsap-Zeit hin. Diese zeitliche Einordnung wird auch durch die Verbiegung der Faltenachsen der post Matsap B2-Faltung im Matsap Synklinorium bestätigt.
Die steil stehenden, weitreichenden Störungen, welche das Doringberg Lineament aufbauen (VAJNER 1974 a,b), verlaufen in ac3-Richtung und waren teilweise als Abschiebungen (PRETORIUS 1979, VAJNER 1974a) durch Dehnung in Richtung der B3-Achse wirksam. Wahrscheinlich werden sie von Scharen weniger steileinfallender Okl-Flächen begleitet, die durch die z.T. starke Streuung der ac3-Maxima in den kleintektonischen Diagrammen abgebildet sind. Tektonische Brekzien mit großen Dolomit Komponenten in der Asbestos Hills BIF im Bereich der Doringbergstörung sind deutlicher Ausdruck dieser Vertikalbewegungen (Abb. 6.23). Hier ist die zeitliche Zuordnung ungewiß, da die Entstehung des Doringberg Lineaments teils in die Witwatersrandzeit (VAJNER 1974 a, VAN EEDEN 1972), teils in die Namaqua-Tektogenese (VAJNER 1974 b), die ihren Höhepunkt bei 1 Mrd. Jahre erreichte, gestellt wird. Jedenfalls zeigen die beschriebenen tektonischen Brekzien Bewegungen an dieser Störungszone in post Asbestos Hills Zeit an.

Als Zeugen jüngster Beanspruchung ist die Verbiegung (Schleppung) des Flußbetts des Oranje westl. Westerberg an der Doringbergstörung zu nennen, welche eine B1-Beanspruchung anzeigt (Abb. 6.22).

6.7. Olifantshoek Sequenz

Die Faltungsdeformation mit W-E-gerichteter größter Hauptnormalbeanspruchung während der Matsap-Deformation ist in den Lange- und Korannabergen am stärksten ausgeprägt. Es ist eine enge, N-S-verlaufende Isoklinalfaltung (B2-F) mit deutlicher Ostvergenz entwickelt. Die Achsenflächen fallen steil nach Westen, und häufig sind in den Antiklinalfalten Überschiebungen (VAJNER 1974 a) ausgebildet. Die Faltenachsen tauchen in unterschiedliche Richtungen ab (Abb. 6.25 a und 6.26 a). Die Intensität dieser B2-Faltung nimmt nach E zu rasch ab.

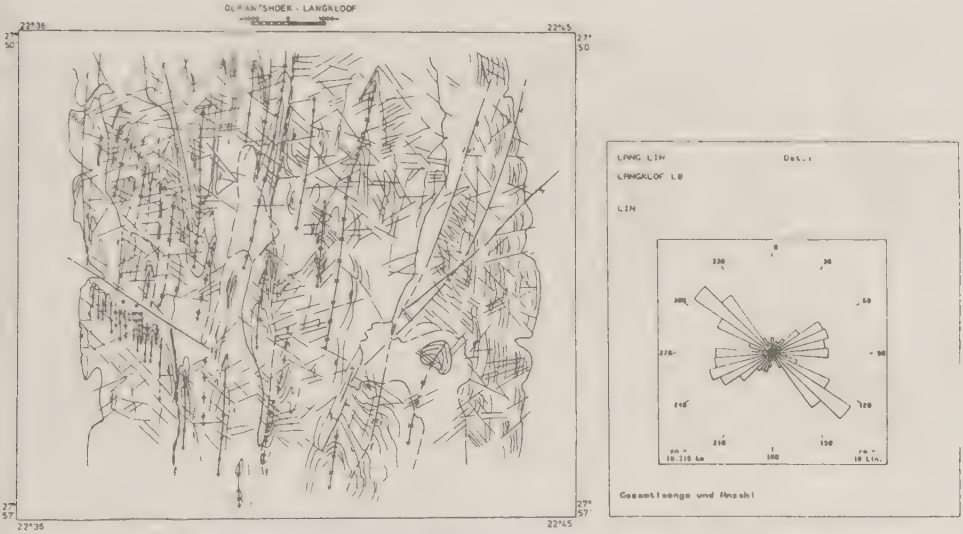


Abb. 6.25: Luftbildauswertung der Olifantshoek Sequenz im Bereich Olifantshoek-Langklof.
a) Luftbildkartierung b) Lineamentverteilung

In Teilbereichen weist eine Winkeldiskordanz zwischen der Hauptstreichrichtung der Serien und den Faltenachsen auf eine Staffelstellung der Falten (en échelon folding: CAMPBELL 1958) hin. Mit der Faltung ging eine starke Trenn- und Scherbruchbildung einher (Abb. 6.25 b und 6.26 b). Die ac2-Bruchrichtung ist im Gelände häufig durch tiefe Einschnitte ±senkrecht zum Gebirgsstreichen zu erkennen; auf den Bruchlinien drang Gangmaterial auf. Heute führen die Hauptpässe über das Gebirge durch diese Einschnitte (Abb. 6.27).

Die Interpretation der kleintektonischen Diagramme gestaltete sich in diesem Bereich relativ schwierig. Zwar sind in der Regel alle drei Richtungssysteme entwickelt, wobei vor allem das B2-F-System und die Grundprägung der Nordkap-Provinz durch das B3-Richtungssystem dargestellt sind. Dort jedoch, wo die Diagramme aus steil stehenden Faltenflanken stammen, wird die Interpretierbarkeit jüngerer Systeme dadurch erschwert, daß vertikale Kluftflächen parallel zum Schichtstreichen in der Schichtung liegen und häufig nicht als Klüfte ansprechbar sind.

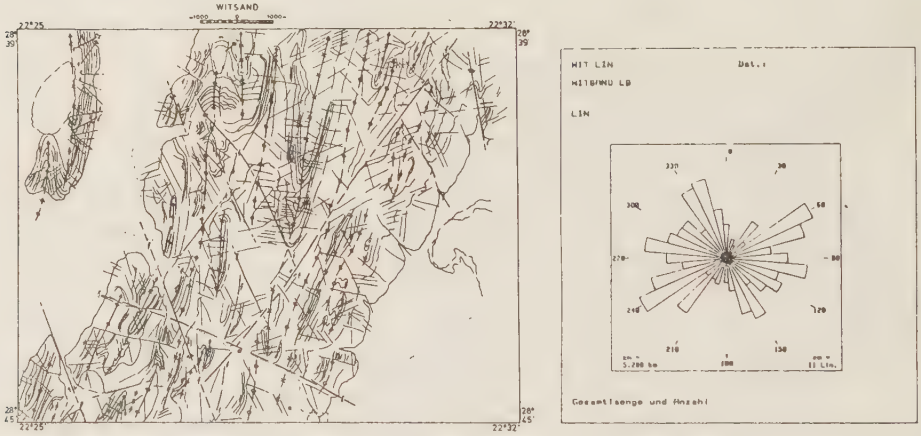


Abb. 6.26: Luftbildauswertung der Olifantshoek Sequenz im Bereich Witsand.
a) Luftbildkartierung b) Lineamentverteilung

Die von VAJNER (1974a) durchgeführte Kluftaufnahme (Abb. 6.28), die v.a. auf Messungen in der südlichen Matsap basieren, wurden nur im Sinne einer einzigen W-E-Kompression interpretiert. Dabei ist auffällig, daß die Hauptmaxima fast ausschließlich mit streichenden bc-Klüften belegt sind. Zu fordern wäre jedoch, daß bei einer derartigen Deformation, wie sie die Matsap Serien erfaßt hat, etwa gleich starke ac- und hk0-Klüfte entwikkelt wären (ADLER 1968), die bc-Klüfte aber nur untergeordnet aufträten (JASKOLLA 1978). Zudem werden durch ein Beanspruchungssystem nicht alle Kluftflächenmaxima erfaßt.

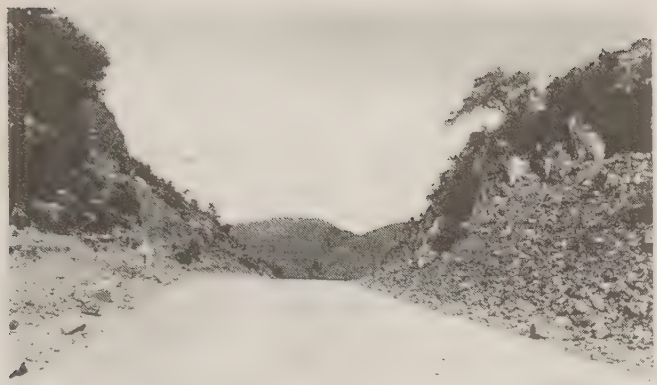


Abb. 6.27:
Bergenaarspadpass nordöstlich Witsand; die ac2-Bruchrichtung ist durch einen Gang (aar) nachgezeichnet, der durch die erhöhte Vegetationsdichte im Hintergrund erkennbar ist.

Abb. 6.28:
Kluftflächenmessungen aus der südlichen Matsap Formation aus VAJNER (1974 a, Abb. 20, S. 118).

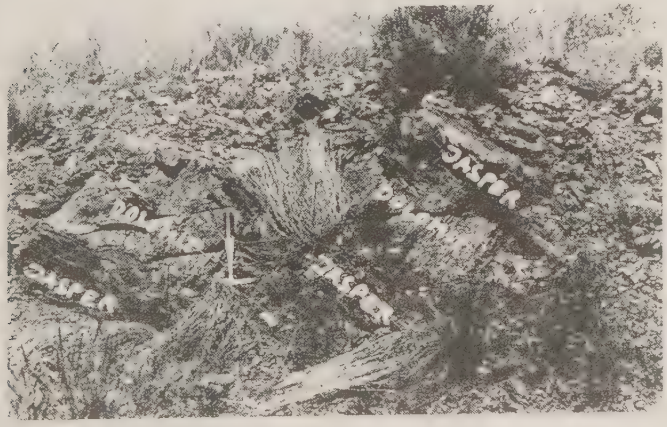


Abb. 6.29:
Aufschluß östlich Olifantshoek. Mylonitisierter Mooidraai Dolomit mit Voelwater Jaspern verschuppt.

Nimmt man dagegen auch Beanspruchungen aus anderen Richtungen an, die auch durch Schichtflächendiagramme belegt sind (Anlage III 6 und VAJNER 1974 a), werden sowohl die starken Hauptmaxima als auch die restlichen Flächen erklärbar.
Auch die Bereiche intensiver Störungs- und Überschiebungstektonik, die in der vorliegenden Arbeit anstelle der abgelehnten weitreichenden Überschiebungen VISSERs (1944) angenommen werden, sind dem B2-Beanspruchungssystem zuzuordnen. So sind im Bereich der Voelwater Jasper und Lucknow Quarzite Anzeichen intensiver Beanspruchung aufgeschlossen, die von Verschuppung und Brekziierung bis zur Mylonitisierung der Gesteine reichen.
Abbildung 6.29 zeigt einen Aufschluß östlich Olifantshoek, in dem Voelwater Jasper intensiv mit mylonitisiertem Dolomit (eingestuft als Mooidraai Dolomit: SACS 1980) verschuppt sind. In diese Verschuppung sind im weiteren Umkreis auch die liegenden Ongeluk-Laven mit einbezogen, und die Voelwatersedimente weisen im Streichen immer wieder einen hohen Zerbrechungsgrad auf. Die weiter westlich anstehenden Lucknow Quarzite zeigen ebenfalls Zeichen starker Deformation.
Diese Störung ist gut mit Schuppenzonen in den Korannabergen korrelierbar, wo auf der Farm Deo Gratia ein ähnlicher Deformationsstil in eingeschuppten Voelwater Jaspern beobachtet werden konnte.
Schließlich sind im Kalahari Mangan Feld (Kap. 6.3.) an den Grenzen von den Ongeluk Andesiten zu den Voelwater Banded Ironstones und zwischen diesen und dem Moodraai Dolomit ebenfalls Störungszonen entwickelt.
Aufgrund dieser tektonischen Unstetigkeitsbereiche wird im Bereich der Ongeluk Voelwater Lucknow Ablagerungen eine Störungszone angenommen, die in die tektonische Karte (Anlage II 2) aufgenommen ist.
Neben dem großen Einfluß der post-Matsap-Deformation mit ihrer W-E-gerichteten Einengung sind auch Hinweise auf andere Richtungssysteme vorhanden. Eine B1-Faltungsphase, welche eine weitere Faltung verursachte und nach der Faltung mit N-S-orientierten B-Achsen (B2-F) einzustufen ist, wird auch durch die N- bzw. S-abtauchenden B2-Faltenachsen dokumentiert.
In Abbildung 6.28 (VAJNER 1974 a) ist auch eine Rotation der B-Achsenrichtungen in der Nähe des Orange Rivers um nahezu 90° erkennbar. Diese wird mit der anhaltenden dextralen Bewegung (PRETORIUS 1979) an Großlineamenten (Brinkspan- bis Brakbos-Lineamente), bedingt durch B1-Sh-Deformation, in Verbindung gebracht (Schleppung).
Jüngere (jünger als die post-Matsap-Deformation) Bruchbildung fand auch statt, was die querschlägigen Störungen belegen, von denen die 150°-verlaufenden dextralen, die NNE- bis NE-streichenden dagegen sinistralen Bewegungssinn aufweisen (Abb. 6.25 a und 6.26 a).

6.8. Zusammenfassung

Die wichtigsten Ergebnisse der terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahmen sowie der Geländeuntersuchungen sollen kurz zusammengefaßt werden:

1. Die synoptische Betrachtungsweise der Kluftmorphologien in den verschiedenen kleintektonischen Diagrammen und der statistische Vergleich der Kluftkonfigurationen führte zur Ansprache von drei unterschiedlichen Beanspruchungsrichtungen, den Richtungssystemen. Diese wurden mit B1-, B2- und B3-System bezeichnet. Die Gefüge-B-Achsen sind in einer synoptischen Darstellung (Abb. 6.30) nach regionalen Teilbereichen getrennt mit ihrer Varianz abgebildet.
2. In Verbindung mit Geländebeobachtungen, empirischen Gesichtspunkten und kluftsymmetrologischen Überlegungen wurden die Richtungssysteme mit den genetischen Gefügetypen Bss, BF und Bsh korreliert und verknüpft (Tab. 6.1). Für bestimmte Sedimentationsabschnitte konnten fundamentale Gefüge erkannt und so die Richtungen der Ablagerungsbecken postuliert werden. Zusätzlich zur bekannten N-S-Faltenrichtung (W-E-Kompression) ließ sich die Anlage einer weiten, offenen Faltung mit E-W-gerichteten B-Achsen (N-S-Kompression) nachweisen. Die Wirksamkeit von Scherdeformation, die meist zur Reaktivierung älterer Bruchsysteme führte, konnte ebenfalls beschrieben werden.

	Bss	BF	Bsh
B1	Asbestos Hills Banded Ironstone Formation (Teilbecken).	prä Asbestos Hills Banded Ironstone Formation: E-W-Wellung beeinflußt Sedimentation der Asbestos Hills Abfolgen; Domstruktur in Sishen; Dom-Becken-Struktur im Bereich Black Rock.	post Ghaap Plateau Dolomite Formation: Anlage eines Karstsystems auf dem Maremane Dom; langanhaltende dextrale Bewegung an NW- bis NNW-orientierten Lineamenten; Fiederspalten und en échelon-Anordnung von Gangsystemen (u.a. Karoo).
B2	Asbestos Hills Banded Ironstone Formation; Voelwater Jasper Formation Olifantshoek Sequenz.	Wahrend der Sedimentation der Griqualand West Sequenz: weite Wellung mit N-S-Becken; Post-Matsap-Deformation: Isoklinalfaltung in der Olifantshoek Sequenz; weite offene Faltung in der jüngeren Griqualand West Sequenz; Überschiebungstektonik.	Post-Matsap-Deformation: B2-Faltung im Westen, Scherbruchbildung im Osten Fiederspalten und en échelon-Anordnung von Gangsystemen (u.a. Karoo).
B3	Campbell Gruppe, Koegas Jaspilite Formation; Einfluß auf die Sedimentation der Voelwater Jasper Formation im Norden.		Reaktivierte ac1-Brüche als Blattverschiebungen; Beziehung der Kimberlit Intrusionen zu den tektonischen Hauptbruchrichtungen in 150°- und N-S-Orientierung und der ENE-verlaufenden Griqualand-Transvaal-Achse.

Tab. 6.1: Korrelation der Richtungssysteme B1, B2 und B3 mit genetischen Gefügetypen Bss, BF und Bsh.

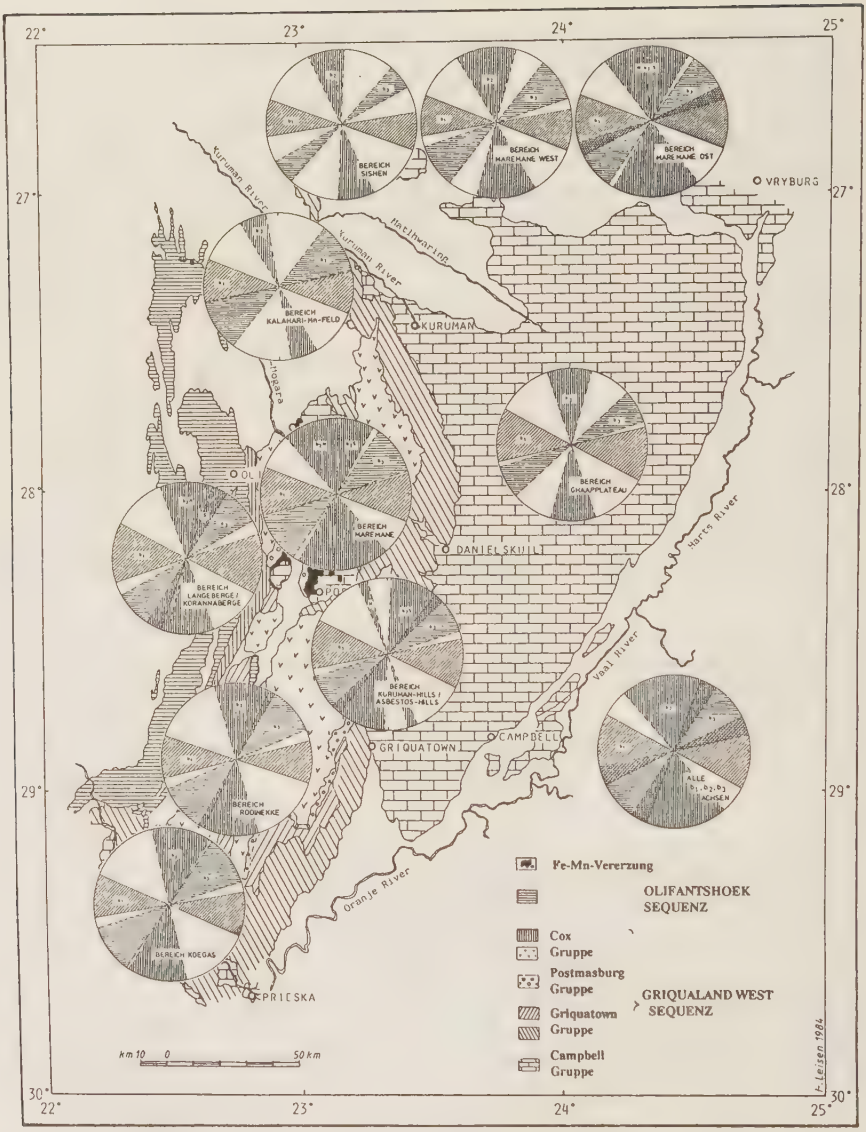


Abb. 6.30: Synoptische Darstellung der B1-, B2- und B3-Gefüge-B-Achsen nach ihrer regionalen Verteilung.

7. Abriß der tektonischen Geschichte der Nordkap-Provinz

Die Zusammenfassung der Ergebnisse aus der tektonischen Kartierung im Satellitenbild und der kleintektonischen Geländeerkundung ließ eine Beschreibung zeitlich geordneter tektonischer Beanspruchungen zu, die nachfolgend dargestellt werden.

7.1. Campbell Zeit

Die in der Frühzeit der Griqualand West Sequenz (Campbell Zeit) abgelagerten Ghaap Plateau Dolomite zeigen ein fundamentales Gefüge (B3-ss), welches die Erstreckung des Sedimentationsbeckens in NE-SW-Richtung festlegt. Als Hauptbrüche treten ca. 150°-(ac3) und ca. 60°- (bc3) Richtungen auf. Die 150°-Richtung ist im Satellitenbild durch die Großlineamente besonders deutlich, die 60°-Richtung dagegen verläuft parallel der Griqualand-Transvaal-Achse, welche zu dieser Zeit der Beckenachse entsprach. Diese beide Richtungen spielten während der Beckenentwicklung auf dem Kraton eine dominante Rolle. Sie entsprechen der frühen Grundprägung des Kratons durch das B3-Richtungssystem.
Nach Ablagerung der Campbell Gruppe führte N-S-Kompression zur Ausbildung eines Scherbruchsystems (B1-sh). Gleichzeitig entwickelte sich eine großräumige, weitgespannte Wellung (B1-F-Gefügesystem).
Das B1-Scherbruchgefüge beeinflußte die richtungsabhängige Verkarstung auf dem Maremane Dom. Im Laufe der Verkarstung bildete sich die teilweise Mangan-vererzte Wolhaarkop Brekzie aus.
Die langwellige Verformung (B1-F) der noch aktiven Sedimentationsräume führte zu einer Schwellen- und Beckengliederung im Ablagerungsbereich der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation, welche durch die unterschiedlichen Mächtigkeiten des Kuruman Gliedes belegt wird.

7.2. Asbestos Hills, Koegas, Gamagara und Makganyene Zeit

Zu Beginn der Asbestos Hills Zeit fand eine Umorientierung des Sedimentationsbeckens in N-S-Richtung statt. Diese Beckenrichtung ist durch ein fundamentales Gefüge in B2-Richtung (B2-ss) und entsprechende Gleitfältelung (sedimentäre Faltung) überliefert. Die oben beschriebene Wellung des Beckenbodens (B1-F) führte zur Ausbildung lokaler Teilbecken mit einem um ungef. 90° gedrehten Gefüge (B1-ss). Eine Rotation des primären Gefüges im Bereich Koegas zeigt dagegen die Nähe zum Beckenrand an.
Auf dem Maremane Dom wird zu dieser Zeit im Bereich des Ostgürtels und des gemischten Vererzungstyps sedimentiert. Hierbei bildeten sich in den Karststrukturen (Tiefstrukturen) die Eisenreicherze von Sishen. Die Ausbildung eines tektonisch kontrollierten tiefen Spezialbeckens in NW-SE-Richtung führte in Sishen zu besonders mächtigen Eisenerzkörpern.

Die Entstehung der Blinkklip Brekzie ist eine Folge der Karsttopographie des Untergrundes. Duch Einbrechen der Karsthohlräume wurden bereits verfestigte gebänderte Eisensteine brekziiert.

Im Süden des Arbeitsgebietes folgen auf die Asbestos Hills Sedimente die Ablagerungen der Koegas Jaspilite Formation. Das Sedimentationsbecken liegt zwischen dem Griquatown-Lineament und der Doringberg-Lineamentzone. Durch Abschiebungen am Griquatown-Lineament, das während der Sedimentation der Koegas Abfolgen eine 'aktive growth fault' darstellte, kam es zur Ausbildung eines tiefen Spezialbeckens. Die Beckenachse ist durch Gleitfaltung und durch das fundamentale Gefüge (B3-ss) festgelegt.
Im übrigen Arbeitsgebiet folgte nach der Sedimentation der Asbestos Hills Abfolgen eine Regression des Transvaalmeeres und die Ausbildung eines Konglomerates mit Asbestos Hills Banded Ironstone Komponenten (Doornfontein Konglomerat). Dies stellt das basale Konglomerat der Gamagara Shale Formation dar. Es wurde auf dem Maremane Dom im Bereich des Westgürtels und des gemischten Typs von einer Mangan-vererzten Tonschieferabfolge, die zum Hangenden hin Eisen-reicher wird und schließlich in Aluminiumtonschiefer und Quarzite übergeht, überlagert (Gamagara Tonschiefer).
In den Kluftdiagrammen der Gamagara Shale Formation ist ein primäres Gefüge in B2-Richtung (B2-ss) angedeutet. Diese Gefüge stellen aber nur Trendrichtungen dar, da die Gamagara Shale Formation ausschließlich in Sinkhole-Strukturen zu finden ist. In diesen kleinräumigen Karststrukturen ist keine einheitliche Prägung zu erwarten.
Das Andauern der Aktivitätsphase des B2-Beanspruchungssystems ist auch während der Makganyene Zeit gegeben.

7.3. Cox Zeit

Die Gefügediagramme der Voelwater Sedimente zeigen, daß die generelle N-S-Beckenrichtung, die seit der Asbestos Hills Zeit vorherrscht, erhalten blieb. Die Konstanz der Beckenanordnung läßt den Schluß zu, daß zu Beginn der Cox Zeit aufgedrungene submarine Ongeluk Andesite ebenfalls in N-S-gerichteten Teilbecken ausgeflossen sind. Die bereits in prä Asbestos Hills Zeit angelegten E-W-Schwellen beeinflußten dabei die Beckengestaltung.Darauf weist auch die rezente Verbreitung der Ongeluk Laven hin.
In der Voelwater Formation ist der Beckentrend eindeutig durch die primären Gefüge in B2-Richtung (B2-ss) festgelegt.
Weiter ist eine Westverlagerung der Beckenachse anzunehmen.
Die Diagramme aus dem Kalahari-Mangan-Feld weisen daneben eine starke Präsenz eines B3-Systems auf, das den Einfluß der frühen Grundprägung des Kratons auf die Sedimentation auch hier zeigt.

7.4. Olifantshoek Zeit

Auch während der Ablagerung der Olifantshoek Sequenz blieb die N-S-Beckenachse erhalten. Die Abfolgen zeigen ein fundamentales Gefüge in B2-Richtung (B2-ss). Das Sedimentationsbecken verlagert sich weiter nach Westen.
Wegen der späteren Beanspruchung (post-Matsap-Deformation), die im Bereich des Matsap Synklinoriums die intensivste Verformung verursachte, sind die primären Gefüge in den Diagrammen stark überprägt.
Mit den Abfolgen der Olifantshoek Sequenz ist der Sedimentationszyklus des Transvaalmeeres abgeschlossen.

7.5. Post Matsap Zeit

Durch die post-Matsap-Deformation kam es infolge W-E-gerichteter maximaler Hauptnormalbeanspruchung zur Ausbildung einer ostvergenten Isoklinalfaltung im Bereich des Matsap Synklinoriums (B2-F). Die Intensität der Faltung nimmt nach Osten hin rapide ab. Auf der starren Karbonatplattform des Ghaap Plateaus im Osten ist nur noch Bruchdeformation (B2-sh) entwickelt. Die Überlagerung der N-S-gerichteten Faltung mit E-W-verlaufender Wellung führte örtlich zur Ausbildung von Dom- und Beckenstrukturen (Faltenvergitterung z.B. in Black Rock).
Mit der B2-Faltung ging eine lokale Überschiebungstektonik einher, wie in den Bereichen Black Rock, Gamagara Rand und Rooinekke deutlich wird. Die in Bohrkernen aus dem Kalahari-Mangan-Feld aufgeschlossenen gestörten Kontakte der Voelwatersedimente zur Ongeluk Lava und zum Mooidraai Dolomit werden hier ebenso wie die Schuppenzone östlich Olifantshoek dieser B2-Überschiebungstektonik zugeordnet.
Mit dem Ende der post-Matsap-Deformation sind die wesentlichen Strukturmuster in der Nordkap Provinz vorhanden. Bruch- und Faltenstrukturen sind angelegt. Erstere werden durch jüngere Beanspruchungen mit z.T. neuem Charakter reaktiviert.
Durch die nun folgende lange Sedimentationslücke im Arbeitsgebiet wird die Überlieferung tektonischer Aktivitäten unterbrochen.

7.6. Jüngere tektonische Ereignisse

Erst die kleinen Vorkommen von permokarbonischen Dwyka Tilliten in NW-SE-gerichteten Tälern geben einen Hinweis auf die weitere tektonische Entwicklung des Arbeitsgebietes. Sie zeigen ein B3-Beanspruchungssystem zur Zeit ihrer Ablagerung an.
Danach existieren wieder in der späten Karoo Zeit Hinweise auf ein Stressfeld mit ca. N-S-Kompression und entsprechend E-W-

Dilatation. Hierdurch kam es zur Reaktivierung eines B1-Scherbruchsystems. An meist N-S- bis NNE-SSW-gerichteten Dehnungsbrüchen drang basisches Gangmaterial auf. Diese Intrusionen sind in Zusammenhang mit dem Auseinanderbrechen des Gondwana-Kontinents zu sehen und fanden in etwa zeitgleich mit der Öffnung des Atlantiks statt.
Eine weitere Zeitmarke der tektonischen Entwicklung stellt das Aufdringen der Kimberlite in der Kreidezeit dar.
Ihre Häufung entlang N-S-verlaufender Brüche und ihre Beziehung zur NE-SW-streichenden Griqualand-Transvaal-Achse zeigen den Einfluß sowohl eines B1- als auch B3-Beanspruchungssystems an. Dadurch ist die Ablösung des B1-Stressfeldes durch eine B3-Beanspruchung dokumentiert.
Anzeichen für das rezente Stressfeld stellt die Wiederbelebung der Griqualand-Transvaal-Achse dar, die sich durch die Anlage einer regionalen Wasserscheide in NE-SW-Richtung im Arbeitsgebiet ausdrückt. Zusammen mit der Orientierung des Kalahari-Beckens wird hier ebenfalls der Einfluß einer B3-Beanspruchung dokumentiert.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb.1.1 Lage des Arbeitsgebietes....2
Abb.1.2 Klimaregionen, Vegetationszonen, geomorphologische, geologische und lithologische Einheiten, Bodenregionen und Bevölkerungsverteilung....3
Abb.1.3 Geologische Übersichtskarte der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen....5
Abb.1.4 Maremane Dom mit Eisen- und Manganlagerstätten....12
Abb.2.1 Flußdiagramm Datenerhebung und Auswertemethodik....14
Abb.2.2 Lage der terrestr.-photogrammetr. Aufnahmen und Handmeßpunkte....16
Abb.2.3 Lage der Satellitenbilder und Luftbildkartierungen..18
Abb.2.4 Lineamentauswertebereiche....21
Abb.3.1 Reflexionskurven von Kalkstein und Andesit mit unterschiedlicher Vegetationsbedeckung....30
Abb.3.2a-f Typische Vegetation im Arbeitsgebiet....32
Abb.3.3 Differenzierung von Fe- und Mn-Lagerstätten im CRC..36
Abb.4.1 Satellitenbildlineamente auf dem Maremane Dom....42
Abb.4.2 Lineamentinterpretation....48
Abb.4.3a-c Tektonische Beanspruchungspläne....50
Abb.4.4 Wirksamkeit der verschiedenen Richtungssysteme....51
Abb.4.5 Verteilung von Kimberlit- und Karbonatitschloten und -gängen im südlichen Afrika....55
Abb.6.1 Legende zu den Luftbildauswertungen....62
Abb.6.2 Blockbild des Maremane Doms....63
Abb.6.3 Luftbild aus dem Zentralbereich des Maremane Doms...64
Abb.6.4a Überschiebung in Bishop....66
Abb.6.4b Aufschiebung in Sishen....66
Abb.6.5 Faltung in Aucampsrus-Turner....66
Abb.6.6 Wolhaarkopbrekzie in Pensfontein....67
Abb.6.7a,b Richtungsverteilungen von Gängen und Lineamenten auf dem Maremane Dom....68
Abb.6.8 Richtungsabhängigkeit von Karststrukturen auf dem Maremane Dom....68
Abb.6.9 Karststrukturen in Glosam....70
Abb.6.10a Rezenter Graben in Sishen....72
Abb.6.10b Großabschiebung in Sishen....72
Abb.6.11 Skizze der Eisenlagerstätte Sishen....74
Abb.6.12 Schemat. Faltenvergitterung im Bereich Black Rock...75
Abb.6.13a Gestörter Kontakt Ongeluk-Voelwater im Bohrkern aus dem Abbau Middelplaats....76
Abb.6.13b Gestörter Kontakt Ongeluk-Voelwater im Bohrkern aus dem Bereich Riries....76
Abb.6.13c Gestörter Kontakt Voelwater-Mooidraai im Bohrkern aus dem Abbau Middelplaats....76
Abb.6.14 Photogelogische Kartierung des Bereichs Hotazel-Mamatwan-Riries-Coretsi....78
Abb.6.15 Synsedimentäre Faltung in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation....81
Abb.6.16 Großklüftung in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation....82

Abb.6.17 Kluftdiagramme aus der Finsch Diamond Mine.....83
Abb.6.18a Luftbildkartierung des Bereichs Riries.....84
Abb.6.18b Luftbildkartierung des Bereichs Whitebank.....85
Abb.6.18c Richtungsverteilung von Störungen und Gängen in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation.....85
Abb.6.19 Photogeologische Karte der Umgebung von Rooinekke...87
Abb.6.20 Schematischer Minenplan und tektonische Strukturen im Abbau Rooinekke.....88
Abb.6.21 Skizze einer Überschiebungsstruktur in Rooinekke....89
Abb.6.22 Photogeologische Karte aus dem Bereich Koegas.....90
Abb.6.23 Gestörter Kontakt Ghaap Plateau Dolomit und Asbestos Hills Banded Ironstone Formation.....91
Abb.6.24a Boudinage in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation.....91
Abb.6.24b Sedimentäre Boudinage in der Asbestos Hills Banded Ironstone Formation.....92
Abb.6.25 Luftbildauswertung des Bereichs Olifantshoek-Langklof.....93
Abb.6.26 Luftbildauswertung des Bereichs Witsand.....94
Abb.6.27 Störung/Gang am Bergenaarspadpass.....95
Abb.6.28 Kluftflächenmessungen aus der südlichen Matsap Formation.....95
Abb.6.29 Gestörter Kontakt Voelwater Jasper und Mooidraai Dolomit Formation östlich Olifantshoek.....95
Abb.6.30 Synoptische Darstellung der B1-, B2- und B3-Gefügeachsen.....98

Tab.1.1 Statigraphische Einteilung der Griqualand West und Olifantshoek Sequenzen.....7
Tab.1.2 Vergleich der stratigraphischen Einteilungen der GWS & OFS nach VISSER und SACS.....8
Tab.2.1 Daten der verwendeten Landsat 1 und 2 Bänder.....18
Tab.3.1 Photogeologischer Schlüssel für die geologisch-lithologische Satellitenbildauswertung.....24
Tab.3.2 Differenzierung verschiedener Oberflächen des Arbeitsgebietes durch ihr Spektralverhalten im Color-Ratio-Composit (CRC) und mit einfachen Ratioabbildungen.....33
Tab.5.1a-g Synoptisch-statistische Darstellung der Maximalverteilungen von Flächenelementen in den Kluftdiagrammen, getrennt nach regionalen Bereichen.....58
Tab.6.1 Korrelation der Richtungssysteme B1, B2 und B3 mit genetischen Gefügetypen Bss, BF und Bsh.....97

Verwendete Karten

Geological map of the republics of South Africa, Transkei, Bophuthatswana, Venda and Ciskei and the kingdoms of Lesotho and Swaziland (1984), Gravity Edition, Maßstab 1 : 1 000 000 (VISSER 1984).

Geological Series, Maßstab 1 : 250 000
- Blatt 2622 Morokweng
- Blatt 2722 Kuruman (MOEN 1979)
- Blatt 2822 Postmasburg (MOEN 1977)

Geological map of the Marydale - Buchuberg area, Northern Cape, Maßstab 1 : 100 000 (VAYNER 1974).

Geological Map of the Colony of the Cape of Good Hope, Maßstab 1 : 238 000
- Blatt 40 Marydale (ROGERS & DU TOIT 1910)
- Blatt 41 Griquatown (ROGERS & DU TOIT 1909)
- Blatt 45 Postmasburg (ROGERS 1907)
- Blatt 49 Kuruman (ROGERS 1908)
- Blatt 50 Vryburg (ROGERS & DU TOIT 1908)

The Geology of the Postmasburg manganese deposits and surrounding country, Maßstab ≈ 1 : 59 500 (NEL 1929)

LITERATURVERZEICHNIS

ABRAMS,M.J. & SIEGAL,B.S. (1980): Lithologic mapping. - In: B.S.SIEGAL & A.R.GILLESPIE (eds.): Remote sensing in geology: 381-418, 30 Abb., 3 Tab.; New York (John Wiley & Sons).

ADLER,R.E. (1969): Kleintektonische Beobachtungen aus dem Ruhrkarbon.- Forsch. Ber. Ld. Nordrh. Westf.; 2008: 5-23; Köln.

- (1981): Bruchtektonik im östlichen Vorfeld des Speckhorner Sprunges nördlich Recklinghausen. - Z. dt. geol. Ges.; 132: 55-69, 7 Abb., 2 Tab.; Hannover.

- , FENCHEL,W. & PILGER,A. (1969): Statistische Methoden in der Tektonik II.- Clausthaler tektonische Hefte 4: 111 S., 79 Abb.; Clausthal-Zellerfeld (Verlag E. Pilger).

- , PFISTER,W. & STACHE,A. (1970): Störungsbezogene Gefügeprägung.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh.; 7: 385-415, 13 Abb., 1 Tab; Stuttgart.

- in Zusammenarbeit mit K.-J. HÖLTING, P. KRAUSE, H. KUSS, A. PAFFRATH, H. SCHRÖDER & H. WALTER (1982): Gefügemechanik im Steinkohlenbergbau - Möglichkeiten und Ergebnisse.- Z. dt. Geol. Ges.; 133: 457-492, 13 Abb., 3 Tab.; Hannover.

ALLEN,W.A, RICHARDSON,A.J. & GAUSMAN,H.W. (1968): Reflectance produced by a plant leaf. - NASA Earth Resources Aircraft Program Status review; Vol. II: 30C-1-13, 4 Abb.; Houston.

ANHAEUSSER,C.R. & BUTTON, A. (1976): A review of southern African stratiform ore deposits - their position in time and space. - In: K.H. WOLF (ed.): Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits; Vol. 5: 257-319, 11 Abb., 2 Taf.; Amsterdam (Elsevier).

Astronomical Handbook for Southern Africa (1980/1981): Publ. by the Astronomical Society of Southern Africa, Kapstadt.

BAILEY,G.B., FRANCICA,J.R., DWYER,J.L. & FENG,M.S. (1982): Extraction of geologic information from Landsat Multispectral Scanner and Thematic Mapper Simulator Data from Uinta and Piceance Basins, Utah and Colorado. - ERIM - Proc. Internat. Sympos. on Remote Sensing of Environment, Sec. Thematic Conf.: Remote sensing for Exploration Geology, Fort Worth, Texas; 43-70, 16 Abb., 1 Tab.; Ann Arbor.

BARTHÉLEMY,R. & DEMPSTER,A. (1975): Geological interpretation of the ERTS-1 Satellite Imagery of Lesotho, and possible relations between lineaments and kimberlite pipe emplacement. - ERIM - Proc. of the 10th Internat. Sympos. of Remote Sensing Environment; Vol. II, 915-1065, 3 Abb.; Ann Arbor.

BEUKES,N.J. (1973): Precambrian iron-formations of Southern Africa. - Econ. Geol.; 68: 960-1004, 34 Abb., 8 Tab.; New Haven.

- (1978): Die Karbonaatgesteentes en Ysterformasies van die Ghaap-Groep van die Transvaal-Supergroep in Noord Kaapland. - Unveröff. Diss. RAU, Johannesburg; 580 S., 220 Abb., 5 Tab., 1 Karte; Johannesburg.

- (1983): Palaeoenvironmental setting of Iron-Formations in the depositional basin of the Transvaal Supergroup, South Africa. - In: A.F.TRENDALL u. R.C.MORRIS (eds.): Iron-Formation, facts and problems; 131-209, 21 Abb., 1 Tab.; Amsterdam (Elsevier).

- (1986): The Transvaal Sequence in Griqualand West.- In: C.R. ANHAEUSSER & S. MASKE (eds.): Mineral Deposits of Southern Africa; 819-828, 7 Abb.; Johannesburg (Geol. Soc. S. Afr.).

BLOM,R., ABRAMS,M. & CONRAD,C. (1981): Rock type discrimination techniques using Landsat and Seasat image data. - Internat. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS `81): IEEE Digest Vol. I; 597-602, 1 Tab.; New York.

BOARDMAN,L.G. (1940): The geology of the manganese deposits on Aucampsrust, Postmasburg. - Trans. geol. Soc. S. Afr.; 43: 27-36, 1 Abb., 1 Taf.; Johannesburg.

- (1941): The Black Rock manganese deposit in the south-eastern Kalahari. - Trans. geol. Soc. S. Afr.; 44: 51-60, 1 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Johannesburg.

- (1964): Further geological data on the Postmasburg and Kuruman manganese ore deposits, Northern Cape Province. - In: S.H.HAUGHTON (ed.): The geology of some ore deposits in Southern Africa II; 415-440, 6 Abb.; Johannesburg (Geol. Soc. S. Afr.).

BOCK,H. (1976): Einige Beobachtungen und Überlegungen zur Kluftentstehung in Sedimentgesteinen. - Geol. Rdsch.; 65: 83-101, 13 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.

- (1980): Das Fundamentale Kluftsystem. - Z. dt. geol. Ges.; 131: 627-650, 13 Abb., 1 Tab.; Hannover.

BODECHTEL,J. (1969): Photogeologische Untersuchungen über die Bruchtektonik im Toskanisch-Umbrischen Apennin.- Geol. Rdsch.; **59**: 265-278, 9 Abb.; Stuttgart.

- (1978): European key applications for satellite remote sensing Experiments with present systems - requirements for operational application. - Proc. Intern. Conf. on Earth Observ. from Space and Managemant of Planetary Resources; ESA-SP-134; 613-626, 9 Abb., 8 Tab.; Toulouse.

- , DITTEL,R. & HAYDN,R. (1974a): Some possibilities of digital and analogue evaluation of satellite data. - Geoforum; **20**: 3-10, 8 Abb.; Oxford.

- & NITHACK,J. (1974b): Geologisch-tektonische Auswertungen von ERTS-1- und Skylab-Aufnahmen von Nord- und Mittelitalien. - Geoforum; **20**: 11-24, 15 Abb.; Oxford.

- & MÜNZER,U. (1978): Satellite lineaments of the central Mediterranean region. - In: H. CLOOS, D. ROEDER & K. SCHMIDT (eds.): Alps, Apennines, Hellenides. - Inter-Union Commission on Geodynamics, Scient. Rep.; **38**: 339-340, 1 Abb.; Stuttgart.

- , JASKOLLA,F., KOHLHAMMER,G., TOMSCHI,H.P. & VOLK,P. (1984): Zur Tektonik des Gebietes westlich des Königssees/ Berchtesgadener Alpen. - Geol. Rdsch.; **73**: 337-349, 8 Abb.; Stuttgart.

BÖGLI,A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. - XIII + 292 S., 160 Abb., 12 Taf.; Heidelberg (Springer).

BOTHA,B.J.V. & HODGSON,F.D.I. (1976): Karoo dolerites in northwestern Damaraland. - Trans. geol. Soc. S. Afr.; **79**: 186-190, 6 Abb.; Johannesburg.

- , GROBLER, N.J., LINSTRÖM, W. & SMIT, C.A. (1977): Major structural features of the area between the Langeberge range and Kenhard, Northern Cape Province. - Trans. geol. Soc. S. Afr.; **80**: 101-109, 5 Abb.; Johannesburg.

BUCHER,W.H. (1920): The mechanical interpretation of joints. - J. Geol.; **28**: 707-730, 9 Abb.; Chicago.

BUTTON,A. (1976): Transvaal and Hamersley Basins - review of basin development and mineral deposits. - Minerals. Sci. Engng.; **8/4**: 262-291, 20 Abb., 6 Taf.; Johannesburg.

CAMPBELL,J.D. (1958): En echelon folding. - Econ. Geol.; 53: 448-472, 15 Abb.; New Haven.

CILLIERS,J.J.le R. (1961): The nature and origin of the rocks of the Lower Griquatown Stage and the associated deposits of

amphibole asbestos in the Northern Cape, with special reference to the Koegas-Prieska area. - Unveröff. Diss. Univ. Pretoria; 124 S., 4 Abb., 6 Tab.; Pretoria.

CLIFFORD,T.N. (1970): The structural framework of Africa. - In: T.N.CLIFFORD & I.G.GASS (eds.): African magmatism and tectonics: 1-26, 7 Abb., 2 Tab.; Edinburgh (Oliver & Boyd).

CLOOS,H. (1963): Einführung in die Geologie. - XII+503 S., 357 Abb., 3 Taf.; Berlin (Borntraeger).

COLE,M.C. (1982): Integrated use of remote sensing imagery and geobotany in mineral exploration. - Trans. geol. Soc. S. Afr.; 85: 13-28, 22 Abb.; Johannesburg.

COWARD,M.P. & POTGIETER,R. (1982): Thrust zones and shear zones of the margin of the Namaqua and Kheis Mobile Belts, Southern Africa. - Prec. Res.; 21: 39-54, 7 Abb., 1 Tab.; Amsterdam.

DAWSON,J.B. (1970): Structural setting of african kimberlite magmatism. - In: T.N.CLIFFORD & I.G. GASS (eds.): African magmatism and tectonics; 321-335, 5 Abb.; Edinburgh (Oliver & Boyd).

DENNIS,J.G. (1969): Zur genetischen Unterscheidung von gemeinen Klüften und Verschiebungen. - Geol. Rdsch.; 59: 222-228, 2 Abb.; Stuttgart.

- (1972): Structural geology. - X + 532 S., Abb., Tab.; New York (The Ronald Press Company).

DE VILLIERS,J. (1960): The Manganese deposits of the Union of South Africa. - Handb. Geol. Surv. S. Afr. 2; 280 S., 35 Abb., 24 Taf.; Pretoria (Government Printer).

DE VILLIERS,P.R. (1967): New stratigraphic correlation and interpretation of the geological structure of the Postmasburg Sishen area. - Ann. Geol. Surv. S. Afr.; 6: 39-42, 1 Abb., 1 Tab.; Pretoria.

- (1970): The geology and mineralogy of the Kalahari manganese-field north of Sishen, Cape Province. - Mem. Geol. Surv. S. Afr.; 59: V+84 S., 8 Abb., 27 Tab., 50 Taf.; Pretoria.

DU TOIT,A.L. (1933): The manganese deposits of Postmasburg, South Africa. - Econ. Geol.; 28: 95-122, 7 Abb.; New Haven.

ENGELBRECHT,L.N.J. (1962): Markers in the Lower Griquatown Stage near Kuruman, Cape Province. - Ann. Geol. Surv. S. Afr.; 1: 71-80, 4 Taf; Pretoria.

ERIKSSON,S.C. (1982): Kimberlites and associated alkaline magmatism. - In: A.J.TANKARD, M.P.A.JACKSON, K.A.ERIKSSON, D.K.HOBDAY, D.R.HUNTER & W.E.L.MINTER (eds.): Crustal evolution of Southern Africa; 424-432, 4 Abb.; Heidelberg (Springer).

FAO - UNESCO (1977): Soil map of the world 1:5 000 000. - Vol. VI Africa; 299 S.; Paris.

FOCKEMA,P.D. (1967): Crocidolite and associated rocks of the Kuruman area in the Northern Cape. - Unveröff. Diss. Univ. Witwatersrand; 189 S., Abb.; Johannesburg.

FRANCICA, J.R. (1982): A systematic approach to manual analysis and interpretation of Landsat imagery of the Ladakh Himalaya. - ERIM - Proc. Internat. Sympos. on Remote Sensing of Environment, Second Thematic Conf.: Remote sensing for exploration geology, Fort Worth; 279-291, 8 Abb.; Ann Arbor.

FROIDEVAUX,C.M. (1982): Landsat and the southward drift of Madagaskar. - ERIM - Proc. Internat. Sympos. on Remote Sensing of Environment, First Thematic Conf.: Remote sensing of arid and semiarid lands, Kairo; 473-482, 5 Abb.; Ann Arbor.

GIERLOFF-EMDEN,H.-G. & SCHROEDER-LANZ,H. (1970): Luftbildauswertung. - BI Hochschultaschenbücher; Bd. I, 154 S., 88 Abb. 11 Tab.; Mannheim (Bibliographisches Institut).

GILLESPIE,A.R. (1980): Digital techniques of image enhencement. - In: B.S.SIEGAL & A.R.GILLESPIE (eds.): Remote sensing in geology; 139-226, 4 Abb.; New York (John Wiley & Sons).

GINSBURG,J.J. (1966): Karst und Erzbildung. - Z. angew. Geol.; 12: 67-71; Berlin.

GOLD,D.P. (1980): Structural geology. - In: B.S.SIEGAL & A.R.GILLESPIE (eds.): Remote sensing in geology; 419-483, 37 Abb., 4 Tab.; New York (John Wiley & Sons).

GOSPODARIC,R. (1969): Probleme der Bruchtektonik der NW-Dinariden.- Geol. Rdsch.; 59: 308-322, 3 Abb.; Stuttgart.

GROHMANN,N. (1985): Drift tectonics - the fundamental rhythm of crustal drift and deformation. - Geol. Rdsch.; 74/2, 267-310, 19 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.

HALL,A.L. (1926): The manganese deposits near Postmasburg, west of Kimberley. - Trans. Geol. Soc. S. Afr.; 29: 17-46, 5 Abb., 9 Tab., 8 Taf.; Johannesburg.

HANEKOM,H.J. (1966): The crocidolite deposits of the Northern Cape Province.- Unveröff. Diss. Univ. Pretoria; 213 S., 11 Abb., 33 Tab.; Pretoria.

HAUGHTON,S.H. (1969): Geological history of Southern Africa.- V + 535 S., 50 Abb., 16 Taf., 1 Karte; Kapstadt (Geol. Soc. S. Afr.).

HAYDN,R. (1971): Tektonisch-geochemische Untersuchungen in der Greiner Schieferserie (Oberer Zemmgrund, Zillertal/Tirol). - Unveröff. Dipl. Arb. Univ. München; 75 S.; München.

- (1972): Tektonische Gefügeprägung im Vestischen Großsattel zwischen Rheinbaben und Brabecker Sprung. - Unveröff. Diss. TU Clausthal; 134 S., 33 Abb., 3 Tab., 1 Taf.; Clausthal-Zellerfeld.

- (1977): Digital processing of Landsat data for geological applications. - Proc. Internat. Sympos. on Image Processing; 89-92, 5 Abb.; Graz.

- (1982): Some aspects of the presentation of remote sensing data. - Proc. of an EARSeL-ESA Sympos., Igls; ESA SP-175: 77-80, 1 Abb.; Toulouse.

- , JASKOLLA,F. & BODECHTEL,J. (1980): Applications of Landsat - 2 data for obtaining land information. - In: W.D. CARTER, L.C.ROWAN & J.F.HUNTINGTON (eds.): (Cospar) Remote sensing and mineral exploration; 151-155, 4 Abb.; Oxford (Pergamon Press).

- , DALKE,G.W., HENKEL,J. & BARE,J.E. (1982): Application of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhencement. - ERIM - Proc. Internat. Sympos. on Remote Sensing; First thematic Conf.: Remote sensing of arid and semiarid lands, Cairo; 599-616, 14 Abb.; Ann Arbor.

HEMMERICH,M. (1979): Kluft- und Störungstektonik des Auguste-Viktoria-Sattels nördlich Gelsenkirchen-Buer. - Unveröff. Diss. TU Clausthal; 75 S., 39 Abb., 1 Tab.; Clausthal-Zellerfeld.

HENKEL,J. (1982): Usage of a Desktop computer system for geophotogrammetric interpretation of image data.- Internat. Geoscience and Remote Sensing Sympos. (IGARSS '82), München. IEEE Digest Vol. 1; WP-5, 4.1-4.3; Piscataway (IEEE).

HUNT,G.R. (1977): Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared.- Geophys.; 42/3: 501-513, 10 Abb.; Tulsa.

- & ASHLEY,R.P. (1979): Spectra of altered rocks in the visible and near infrared.- Econ. Geol.; 74: 1613-1629, 15 Abb., 4 Tab.; New Haven.

ILLIES,H. (1974): Intra-Plattentektonik in Mitteleuropa und der Rheingraben. - Oberrhein. geol. Abh.; 23: 1-24, 12 Abb.; Karlsruhe.

JAKUCS,L. (1977): Morphogenetics of karst regions. - 284 S., 100 Abb., 17 Taf., 38 Photos; Bristol (Adam Hilger).

JASKOLLA,F. (1978): Geologisch-tektonische Untersuchungen an Satellitenbildlineamenten in den nördlichen Kalkalpen. - Unveröff. Diss. Univ. München; 118 S., 35 Abb., 2 Tab., 4 Anh.; München.

- , VOLK,P. (1986): Use of cave-maps for tectonic surveys.- Int. J. Speleol.; 15: 15-40, 21 Abb.; Triest.

JENNINGS,J.N. (1971): Karst. - 252 S., 69 Abb., 7 Taf., 40 Photos; Cambridge (The M.I.T. Press).

KAHLE,A.B. (1982): Spectral remote sensing of rocks in arid lands. - ERIM - Proc. Internat. Sympos. on Remote Sensing of Environment; First thematic Conf.: Remote sensing of arid and semiarid lands, Kairo; 279-295, 8 Abb., 3 Tab.; Ann Arbor.

KAISER,E. (1931): Zur Frage der Entstehung der Manganerzlagerstätten von Postmasburg in Griqualand-West, Südafrika. - N. Jb. Min. Beil. Bd.; 64a: 727-737, 1 Abb.; Stuttgart.

KAUFMANN,H. & JASKOLLA,F. (1983): Remote sensing for geology. - Remote Sensing: Proc. Alpbach Summer School, ESA SP-205; 151-157, 7 Abb.; Noordwijk.

KRAUSE,P. (1981): Beobachtungen zur Kluft- und Störungstektonik im germanotypen Bruchschollengebirge am linken Niederrhein. - Unveröff. Diss. TU Clausthal; 125 S., 55 Abb., 7 Tab.; Clausthal-Zellerfeld.

KRAUSSE,H.-F., PILGER,A., REIMER,V. & SCHÖNFELD,M. (1978): Bruchhafte Verformung. Erscheinungsbild und Deutung mit Übungsaufgaben.- Clausthaler tektonische Hefte; 16: 86 S., 39 Abb., 5 Taf.; Clausthal-Zellerfeld (Verlag E. Pilger).

KRONBERG,P. (1967): Photogeologie. Eine Einführung in die geologische Luftbildauswertung. - Clausth. Tekton. Hefte; 6: 235 S., Abb.; Clausthal-Zellerfeld.

- (1984): Photogeologie. Eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der geologischen Auswertung von Luftbildern. - 268 S., 238 Abb.; Stuttgart (Enke).

LANG,R. (1982): Finding the Lost River Gas Field: Lineament density analysis in hydrocarbon exploration. - Internat. Geoscience and Remote Sensing Sympos. (IGARSS), München: IEEE Digest Vol. I; WA-4, 1.1-1.5, 4 Abb.; New York.

LATTMAN,L.H. (1958): Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs. - Photogrammetric. Eng.; 24/4: 568-576; Falls Church.

LEUBE,A. (1962): Grundzüge der geotektonischen Entwicklung Südafrikas. - Geol. Rdsch.; 52: 721-744, 2 Taf.; Stuttgart.

LILLESAND,T.M & KIEFER,R.W. (1979): Remote sensing and image interpretation. - XII + 612 S., Abb., Tab.; New York (John Wiley & Sons).

LIST,F.K. (1968): Zur Technik der photogeologischen Auswertung im kalkalpinen Bereich (Heiterwand Gebiet/östl. Lechtaler Alpen, Tirol). - Geol. Rdsch.; 58: 196-219, 3 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Stuttgart.

- , HELMCKE,D. & ROLAND,N.N. (1974): Vergleich der geologischen Information aus Satelliten- und Luftbildern sowie Geländeuntersuchungen im Tibesti-Gebirge (Tschad). - BuL; 4: 116-122, 4 Abb.; Karlsruhe.

MAACK,R. (1958): Vorläufige Ergebnisse einer Forschungsreise durch Südafrika zum Problem der tangentialen Krustenverschiebungen der Erde. - Die Erde; 89: 284-305, 5 Abb., 20 Taf.; Berlin.

MOEN,H.F.G. (1977): Geological series 1:250 000 with explanatory notes, sheet 2822 Postmasburg. - Pretoria (Geol. Surv. S. Afr.).

- (1979): Geological series 1:250 000 with explanatory notes, sheet 2722 Kuruman. - Pretoria (Geol. Surv. S. Afr.).

MORGAN,K.M. & MORRIS-JONES,D.R. (1982): Basic concepts in digital image processing and geologic integration. - ERIM - Proc. Internat. Sympos. on Remote Sensing of Environment; Sec. Thematic Conf.: Remote Sensing for Exploration Geology, Fort Worth; Vol. I: 11-23, 7 Abb.; Ann Arbor.

MÜHLFELD,R. (1964): Anleitung für die geologische Auswertung von Luftbildern und die Planung photogeologischer Arbeiten. - 64 S., 16 Abb.; Hannover (Bundesanstalt f. Bodenforschung).

MÜLLER,U. (1983): Geochemische Vollanalyse und Korrelationsversuch von gebänderten Eisenerzen der Transvaal-Supergroup (Südafrika). - Unveröff. Dipl. Arbeit, Teil II, Univ. München; 136 S., 5 Tab.; München.

NEL,L.T. (1929): The geology of the Postmasburg manganese deposits and the surrounding country. - An Expl. of the Geol. Map; 109 S., 11 Abb., 15 Tab., 12 Taf.; Pretoria (Geol. Surv.).

NEL,C.J., BEUKES,N.J. & DE VILLIERS,J.P.R. (1986): The Mamatwan manganese mine of the Kalahari Manganese Field.- In: C.R. ANHAEUSSER & S. MASKE (eds.): Mineral deposits of Southern Africa; 963-978, 15 Abb., 4 Taf.; Johannesburg (Geol. Soc. S. Afr.).

NICKELSEN,R.P. & HOUGH,N.S. (1967): Jointing in the Appalachian Plateau of Pennsylvania. - Geol. Soc. Amer. Bull.; 78: 609-630, 2 Abb., 6 Taf.; New York.

O'LEARY,D.W., FRIEDMAN,J.D. & POHN,H.A. (1976): Lineaments, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. - Geol. Soc. Amer. Bull.; 87: 1463-1469, 2 Tab.; Boulder.

PLEHWE-LEISEN,E.v. (1986): Geologische und erzpetrographische Untersuchungen der Manganerze des Postmasburgfeldes, Nördliche Kapprovinz, Südafrika. - Unveröff. Diss. Univ. München; 129 S., 46 Abb., 5 Tab.; München.

PRETORIUS.D.A. (1978): The contribution of the aeromagnetic interpretation to the assessment of the mineral potential of Botswana. - In: C.V.REEVES: Reconnaissance aeromagnetic survey of Botswana 1975-1977. Final Interpretation Report. Appendix A, 63 S., 7 Abb.; Gaborone (Government Printer).

- (1979): The crustal architecture of Southern Africa. - Annex. Trans. Geol. Soc. S. Afr.; LXXVI: 60 S., 50 Abb.; Johannesburg.

RAINES,G.L. & CANNEY,F.C. (1980): Vegetation and geology. - In: B.S.SIEGAL & A.R.GILLESPIE (eds.): Remote sensing in geology; 365-380, 11 Abb., 1 Tab.; New York (John Wiley & Sons).

RICHTER,M. (1933): Geologie der Umgebung von Postmasburg (Westgriqualand) in Südafrika. - N. Jb. Min. Geol. Paläont.; 69: 397-449, 12 Abb., 4 Taf.; Stuttgart.

ROGERS,A.W. (1906): The Campbell Rand and Griquatown series in Hay. - Trans. Geol. Soc. S. Afr.; IX: 1-9, 1 Abb., 2 Taf.; Johannesburg.

- (1907): Geological map of the Colony of the Cape of Good Hope.- Blatt 45, Postmasburg, 1 : 238 000; Geological Commission.

- (1908): Geological map of the Colony of the Cape of Good Hope.- Blatt 49, Kuruman, 1 : 238 000; Geological Commission.

- (1925): The geological structure of the Union. - An expl. of the geol. map of the Union of South Africa, 1 : 1 000 000. - Geol. Surv. S. Afr.; 34 S., 1 Tab.; Pretoria (Government Printer).

- & DU TOIT,A.L. (1908): Geological map of the Colony of the Cape of Good Hope.- Blatt 50, Vryburg, 1 : 238 000; Geological Commission.

- & DU TOIT,A.L. (1909): Geological map of the Colony of the Cape of Good Hope.- Blatt 41, Griquatown, 1 : 238 000; Geological Commission.

- & DU TOIT,A.L. (1910): Geological map of the Colony of the Cape of Good Hope.- Blatt 40, Marydale, 1 : 238 000; Geological Commission.

ROY,S. (1981): Manganese deposits. - X+458 S., 123 Abb., 48 Taf.; London (Academic Press).

ROWAN,L.C. (1975): Application of satellites to geologic exploration. - Am. Sci.; 63: 393-403, 14 Abb.; New Haven.

- & WETLAUFER,P.H. (1973): Structural geologic analysis of Nevada using ERTS-1 images: A preliminary report. - NASA SP-327; 413-423, 3 Abb.; Washington.

- , GOETZ,A.F.H. & ASHLEY,R.P. (1977): Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images. - Geophysics; 42: 522-535, 8 Abb.; Tulsa.

- & LATHRAM,E.H. (1980): Mineral exploration. - In: B.S.SIEGAL & A.R.GILLESPIE (eds.): Remote sensing in geology: 553-605, 30 Abb., 2 Tab.; New York (John Wiley & Sons).

SABINS,F.F. (1978): Remote sensing - principles and interpretation. - XI + 426 S., Abb., Tab.; San Francisco (Freeman).

SACS (South African Committee for Stratigraphy)(1980): Stratigraphy of South Africa, Handbook 8, Part 1 of the Dep. of Mineral and Energy Affairs. - XIX + 690 S., Abb., Taf.; Pretoria (Government Printer).

SANDER,B. (1930): Gefügekunde der Gesteine. - VI + 352 S., 155 Abb., 245 Gefügediagramme; Wien (J. Springer).

- (1948): Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper. Erster Teil: Allgemeine Gefügekunde und Arbeiten

im Bereich Handstück bis Profil. - X + 215 S., 66 Abb.; Wien (J. Springer).

SCHMIDT-THOMÉ,P. (1972): Tektonik. - In: R.BRINKMANN (ed.): Lehrbuch der allgemeinen Geologie, Band II: XIX + 579 S., Abb., Tab.; Stuttgart (Enke).

SCHNEIDER,S. (1974): Luftbild und Luftbildinterpretation. Lehrbuch der allgemeinen Geographie 11. - 530 S., Abb., Tab.; Berlin (de Gruyter).

SCHNEIDERHÖHN,H. (1931): Mineralbestand und Gefüge der Manganerze von Postmasburg (Griqualand-West), Südafrika.- N. Jb. Min. Beil. Bd.; 64 A: 701-726, 17 Abb.; Stuttgart.

SEGAL,D.B. (1982): Theoretical basis for differentiation of ferric iron bearing minerals using Landsat-MSS-data. - ERIM - Proc. Internat. Sympos. on Remote Sensing of Environment; Sec. Thematic Conf.: Remote Sensing for Exploration Geology, Fort Worth: 949-951; Ann Arbor.

SMOLKA,A. (1977): Terrestrisch-photogrammetrische und Satelliten-Aufnahmen als Grundlage für tektonische Untersuchungen - dargestellt am Beispiel des nördlichen Apennins. - Unveröff. Diss. Univ. München; 90 S., 25 Abb., 8 Tab., 2 Karten; München.

STOW,G.W. (1874): Geological notes upon Griqualand West. - Q. J. Geol. Soc. London; 30: 581-680; London.

STRAUSS,C.A. (1954): The iron ore deposits in the Sishen area, Cape Province. - In: S.H.HAUGHTON (ed.): The geology of some ore deposits of Southern Africa, 2: 394-403, 2 Abb.; Johannesburg (Geol. Soc. S. Afr.).

SWEETING,M.M. (1972): Karst landforms. - 362 S., 127 Abb., 57 Photos; London (Macmillan).

TRUSWELL,J.F. (1977): The geological evolution of South Africa. - III + 218 S., 99 Abb., 8 Tab.; Cape Town (Purnell).

TRUTER,F.C., WASSERSTEIN,B., BOTHA,P.R., VISSER,D.J.L., BOARDMAN, L.G. & PAVER,G.L. (1938): The geology and mineral deposits of the Olifantshoek area, Cape Province. - Expl. Sheet; 173; Pretoria (Geol. Surv. S. Afr.).

VAIL,J.R. (1970): Tectonic control of dykes and related irruptive rocks in eastern Africa. - In: T.N.CLIFFORD & I.G.GASS (eds.): African magmatism and tectonics; 337-354, 5 Abb.; Edinburgh (Oliver & Boyd).

VAJNER,V. (1974a): The tectonic development of the Namaqua mobile belt and its foreland in parts of the Northern Cape. -

Bull. Prec. Res. Unit, Univ. of Cape Town; 14: V + 201, 43 Abb., 19 Tab.; 8 Taf.; Cape Town.

- (1974b): The Doringberg fault and its relation to the post - Waterberg deformation. - Trans. Geol. Soc. S. Afr.; 77: 295-300, 4 Abb.; Johannesburg.

- (1976): Epeirogeny, orogeny and the tectonic development of Kaapvaal basin, Southern Africa. - Geol. Rdsch.; 65/1: 333-360, 6 Abb., 2 Taf.; Stuttgart.

VAN EEDEN,O.R. (1972): The geology of the Republic of South Africa. An explanation of the 1:1000000 map, 1970 edition. Dep. of Mines - Geol. Surv. S. Afr., SP 18: VI+85 S., 4 Abb., 2 Taf.; Pretoria.

VAN SCHALKWYK,J.F. & BEUKES,N.J. (1986): The Sishen iron ore deposit, Griqualand West.- In: C.R.ANHAEUSSER & S.MASKE (eds.): Mineral Deposits of Southern Africa; 931-956, 23 Abb.; Johannesburg (Geol. Soc. S. Afr.).

VIERNSTEIN,M. (1981): Geologisch-mineralogische Untersuchungen der Banded Iron Formations der Transvaal Supergroup, Südafrika, mit spezieller Berücksichtigung der Eisenreicherze von Sishen.- Unveröff. Diss. Univ. München; 138 S., 19 Abb., 7 Taf., Anh.; München.

VILJOEN,R.P. & VILJOEN,M.J. (1975): ERTS-1 imagery: An appraisal of applications in geology and mineral exploration. - Minerals. Sci. Engng.; 7: 132-168, 17 Abb.; Johannesburg.

VINCENT,R.K. (1973): Ratio maps of iron ore deposits, Atlantic City District, Wyoming. - NASA Sympos. on signif. results obtained from ERTS-1, Vol. 1A, NASA SP-326: 379-386, 6 Abb.; Washington.

VISSER,D.J.L. (1944): Stratigraphic features and tectonics of portions of Bechuanaland and Griqualand West. - Trans. Geol. Soc. S. Afr.; 47: 197-254, 12 Abb., 1 Tab.; Johannesburg.

- (1954): Deposits of manganese ore in Rooinekke and neighbouring farms, district Hay. - Trans. Geol. Soc. S. Afr.; 57: 61-75, 1 Abb., 1 Taf.; Johannesburg.

- (1984): Geological map of the republics of South Africa, Transkei, Bophuthatswana, Venda and Ciskei and the kingdoms of Lesotho and Swaziland, Maßstab 1 : 1 000 000, Gravity edition; Pretoria (Government Printer).

WAGNER,P.A. (1928): The iron deposits of the Union of South Africa. - Mem. Geol. Surv. S. Afr., 26: 268 S., Abb.; Pretoria.

WALKER,F. & POLDERVAART,A. (1949): Karroo dolerites of the Union of South Africa. - Geol. Soc. Amer. Bull.; **60**: 591-706, 43 Abb., 10 Taf.; New York.

WEEDEN,H.A. & BOLLING,N.B. (1980): Fundamentals of aerial photography interpretation. - In: B.S.SIEGAL & A.R.GILLESPIE (eds.): Remote sensing in geology: 229-255, 12 Abb., 7 Tab.; New York (John Wiley & Sons).

WELCH,R.H. (1969): The nature and origin of the Banded Ironstone and some Crocidolite deposits of the Pretoria series in the Kuruman district, Northern Cape Province. - Unveröff. M.Sc. Thesis Rand Afrikaans Univ. Johannesburg; 179 S., Abb.; Johannesburg.

WUNDERLICH,H.G. (1968): Einführung in die Geologie Bd. I: Endogene Dynamik. - 223 S., 55 Abb.; Mannheim (Bibliographisches Institut)

ZÖTL,J.G. (1974): Karsthydrogeologie. - X + 291 S., 114 Abb., 13 Tab., 2 Taf.; Wien (Springer).

ANHANG

ANHANG I: Landsatdaten

1. Falschfarbenmosaik aus den Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972 (MSS 4 = blau, MSS 5 = grün, MSS 7 = rot); Bild 1,2,3,4
   Nicht für den Druck vorgesehen.

2. Falschfarbenbild der Landsataufnahme vom 07.12.1975 (MSS 4 = blau, MSS 5 = grün, MSS 7 = rot); Bild 6
   Nicht für den Druck vorgesehen.

3. Falschfarbenbild der Landsataufnahme vom 18.01.1973 (MSS 4 = blau, MSS 5 = grün, MSS 7 = rot); Bild 5
   Nicht für den Druck vorgesehen.

4. S/W Mosaike der MSS-Kanäle 4, 5 und 7 der Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972; Bild 1,2,3,4

5. Color-Ratio-Composit (CRC) der Landsataufnahme vom 07.12.1975 (MSS 4/MSS 5 = gelb, MSS 5/MSS 6 = magenta, MSS 6/MSS 7 = cyan); Bild 6
   Nicht für den Druck vorgesehen.

6. S/W Ratioabbildungen der Landsataufnahmen vom 14.09.1972 (Bild 3) und 07.12.1975 (Bild 6)
   (MSS 4/MSS 5, MSS 5/MSS 6, MSS 6/MSS 7, MSS 5/MSS 7)

7. S/W Ratiomosaiken der Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972 (MSS 4/MSS 5, MSS 5/MSS 7, MSS 4/MSS 7); Bild 1,2,3,4

8. Thermal-IR-Luftbild vom nördlichen Maremane Dom (Fa. Spektral Africa, Randfontein, RSA)

Lage der Satellitenbilder 1 - 6 (———)

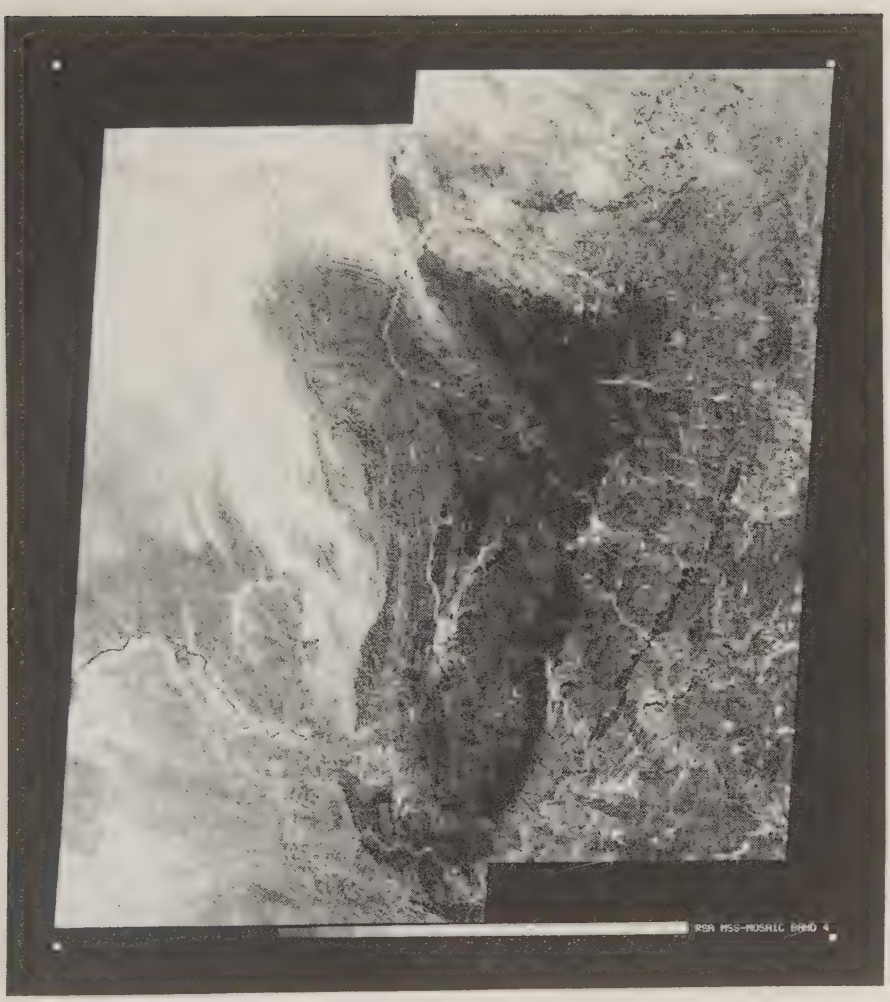
Anhang I 1:
Falschfarbenmosaik (CIR); Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972
Maßstab 1 : 1 000 000
Nicht für den Druck vorgesehen!

Anmerkung:
Durch die Überbetonung von **grün** bei der RGB-Filterung im Labor sind die Farbwerte im Satellitenbild stark in den Grünbereich verschoben, gut am Graukeil erkennbar. Dadurch ergeben sich gewisse Unterschiede zwischen Farbbeschreibung in Tab. 3.1 (S. 24) und Falschfarbenbild.

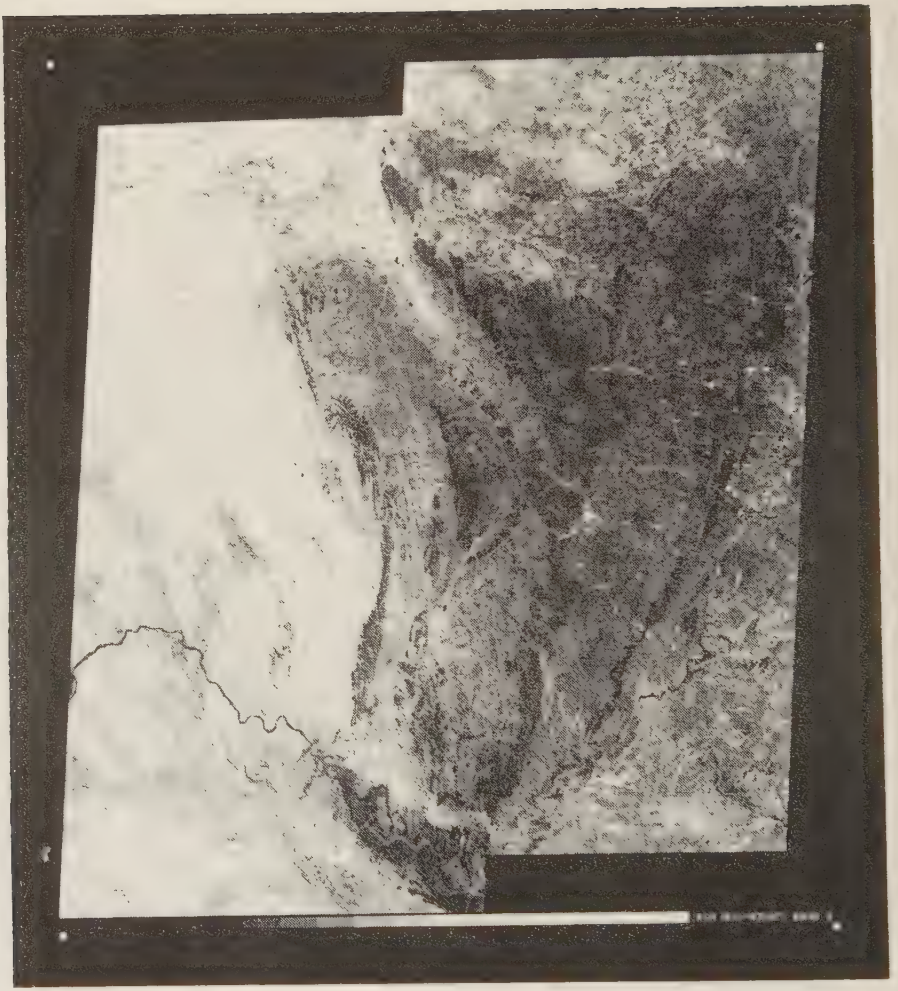
Anhang I 2:
Falschfarbenbild (CIR); Landsataufnahme vom 07.12.1975
Maßstab ca. 1 : 1 200 000
Nicht für den Druck vorgesehen!

Anhang I 3:
Falschfarbenbild (CIR); Landsataufnahme vom 18.01.1973
Maßstab ca. 1 : 1 200 000
Nicht für den Druck vorgesehen!

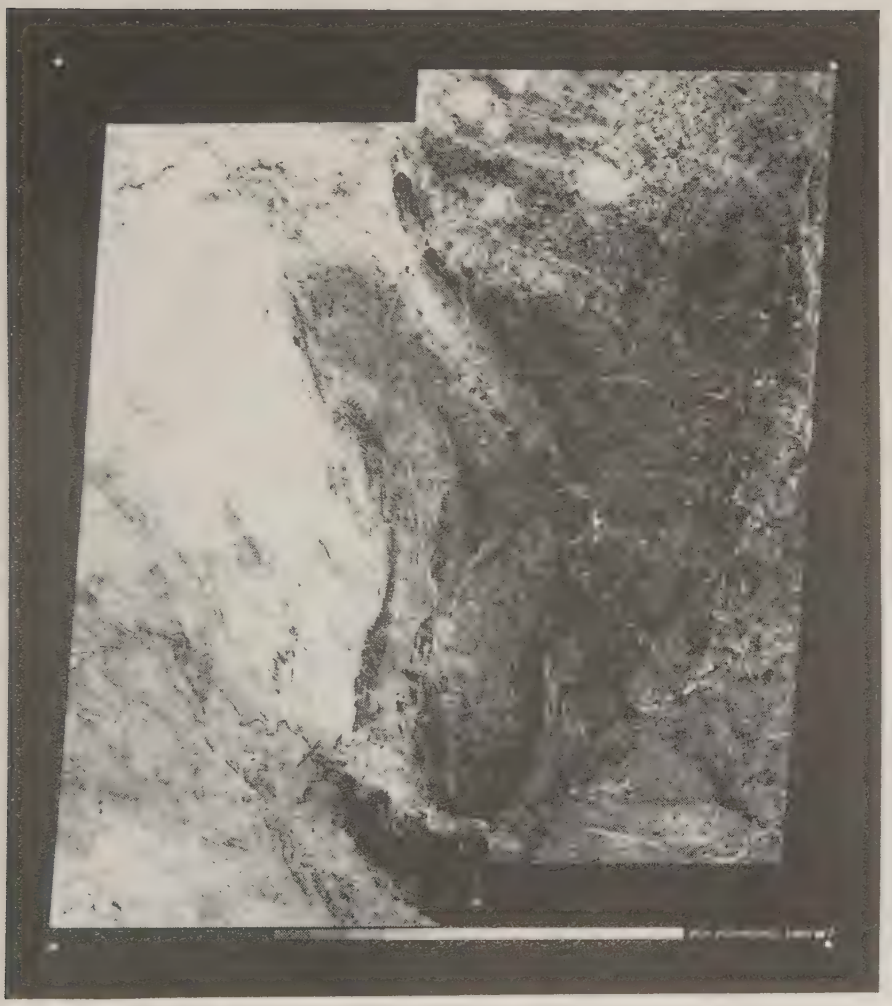
Anhang I 5:
Color-Ratio-Composit (CRC); Landsataufnahme vom 07.12.1975
Maßstab ca. 1 : 1 200 000
Nicht für den Druck vorgesehen!



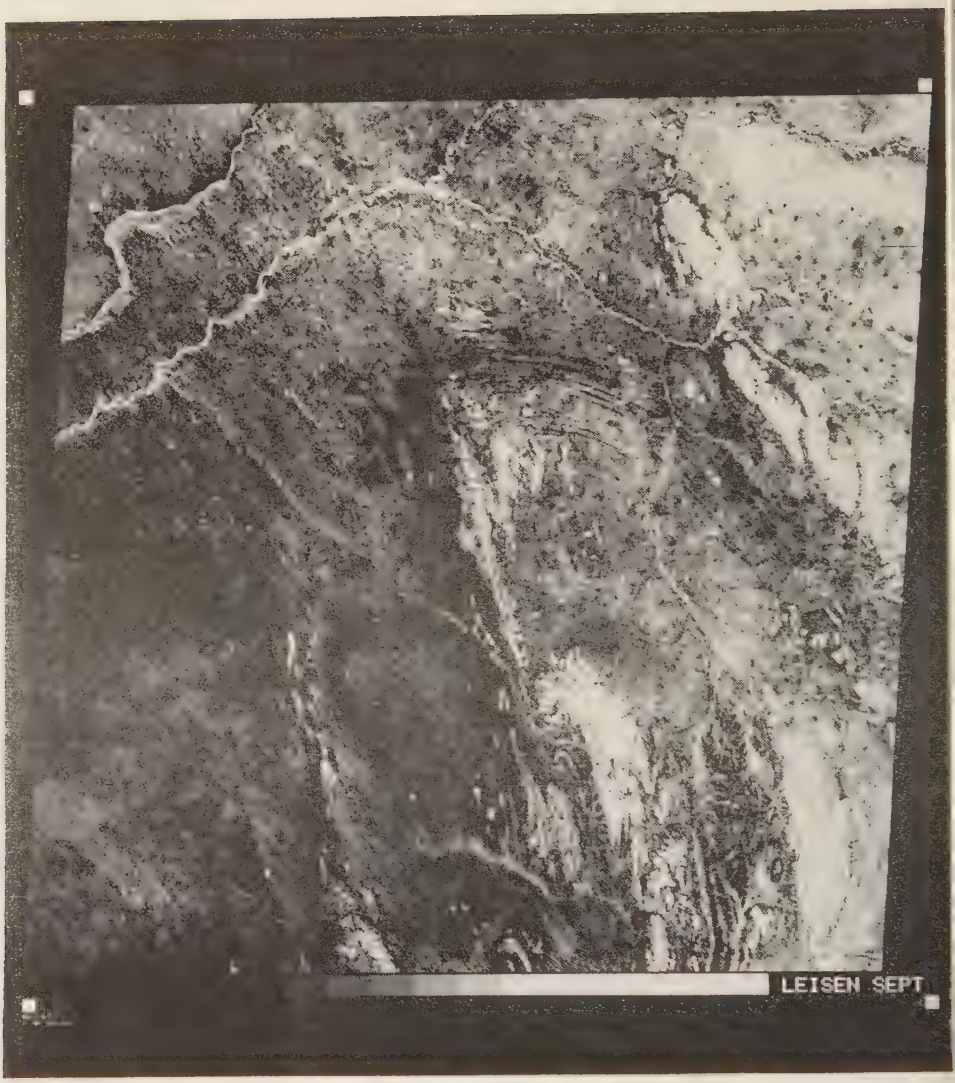
Anhang I 4/1:
S/W Mosaik MSS 4; Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 2 300 000



Anhang I 4/2:
S/W Mosaik MSS 5; Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 2 300 000

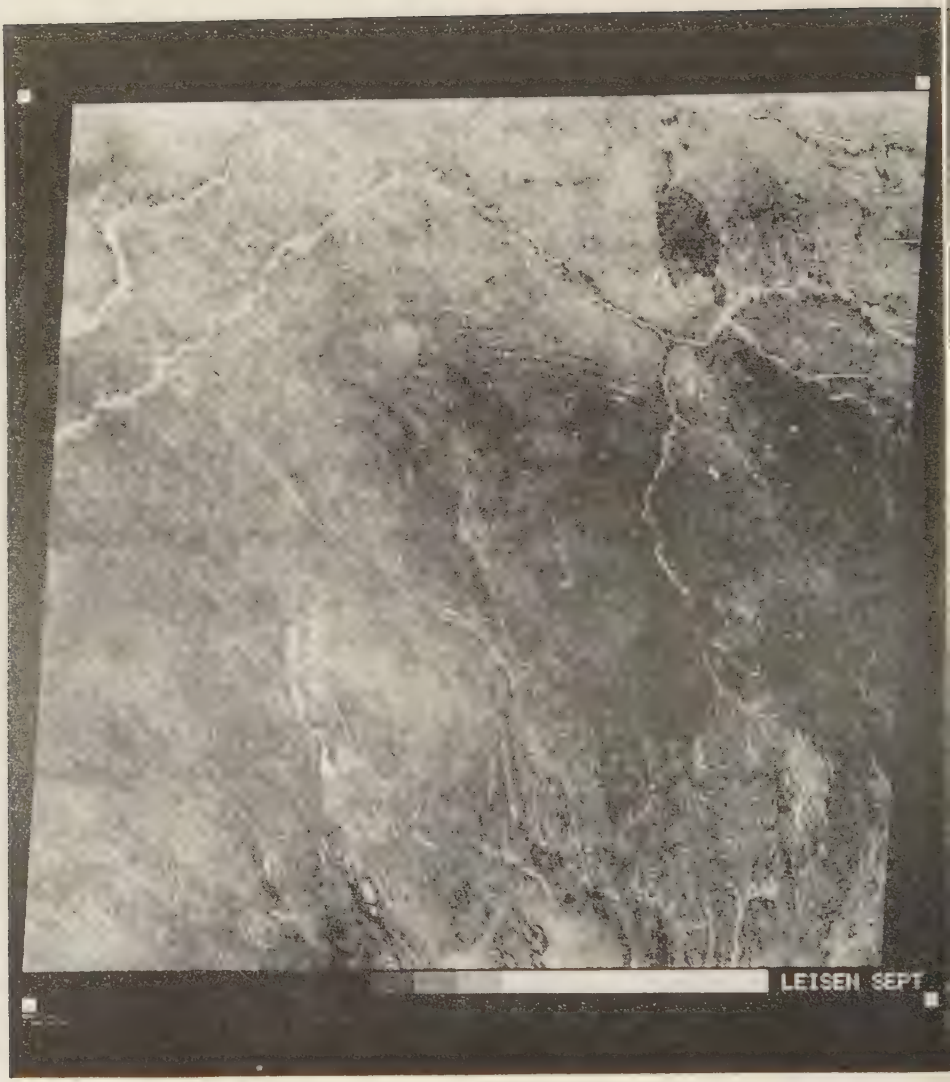


Anhang I 4/3:
S/W Mosaik MSS 7; Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 2 300 000

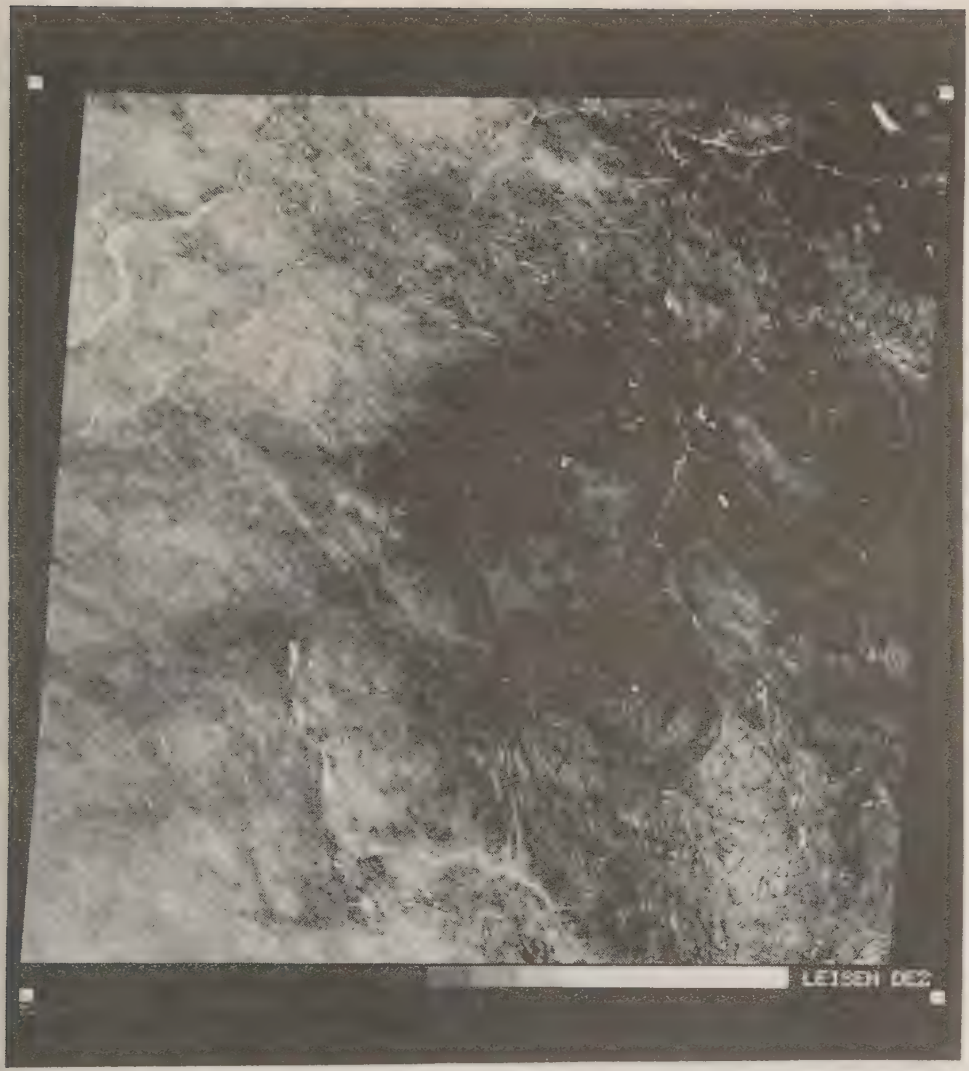


Anhang I 6/1:
S/W Ratio MSS 4/MSS 5; Landsataufnahme vom 14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 1 200 000

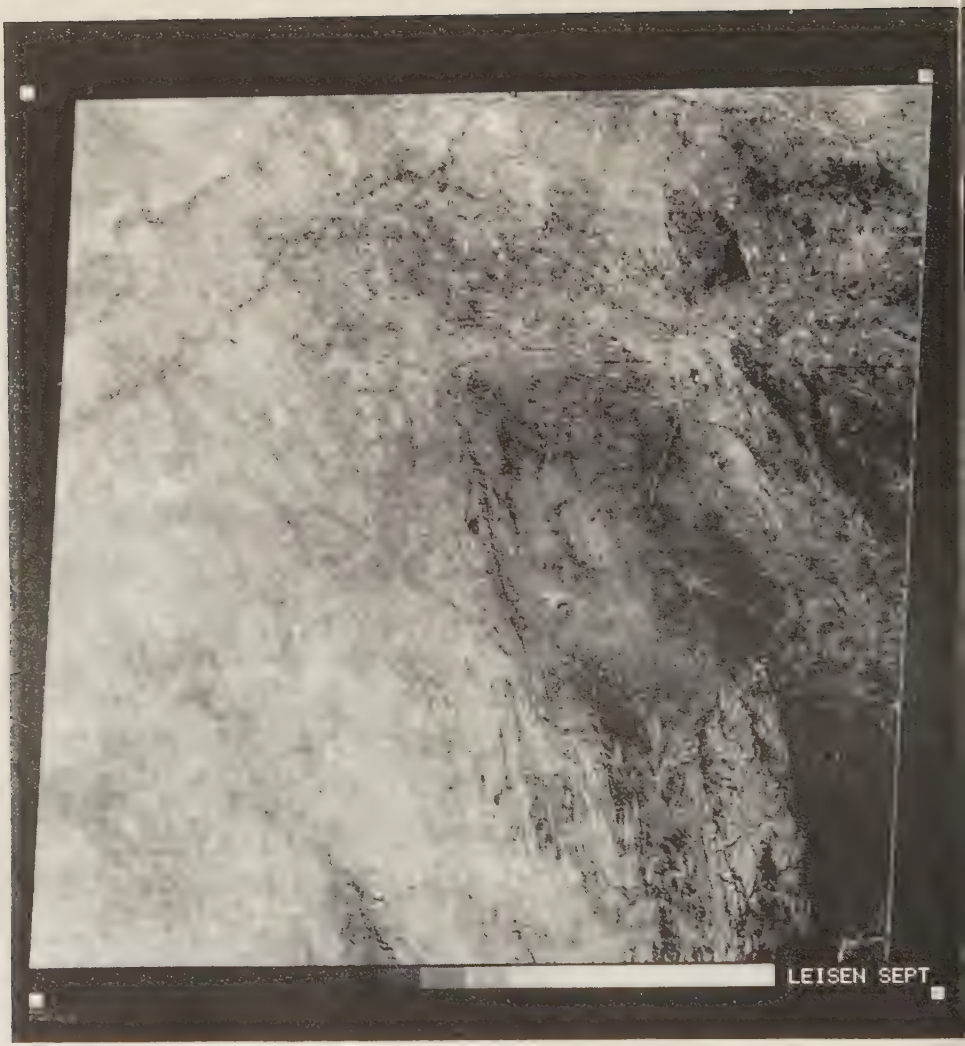
Anhang I 6/2:
S/W Ratio MSS 4/MSS 5; Landsataufnahme vom 07.12.1975
Maßstab ca. 1 : 1 200 000



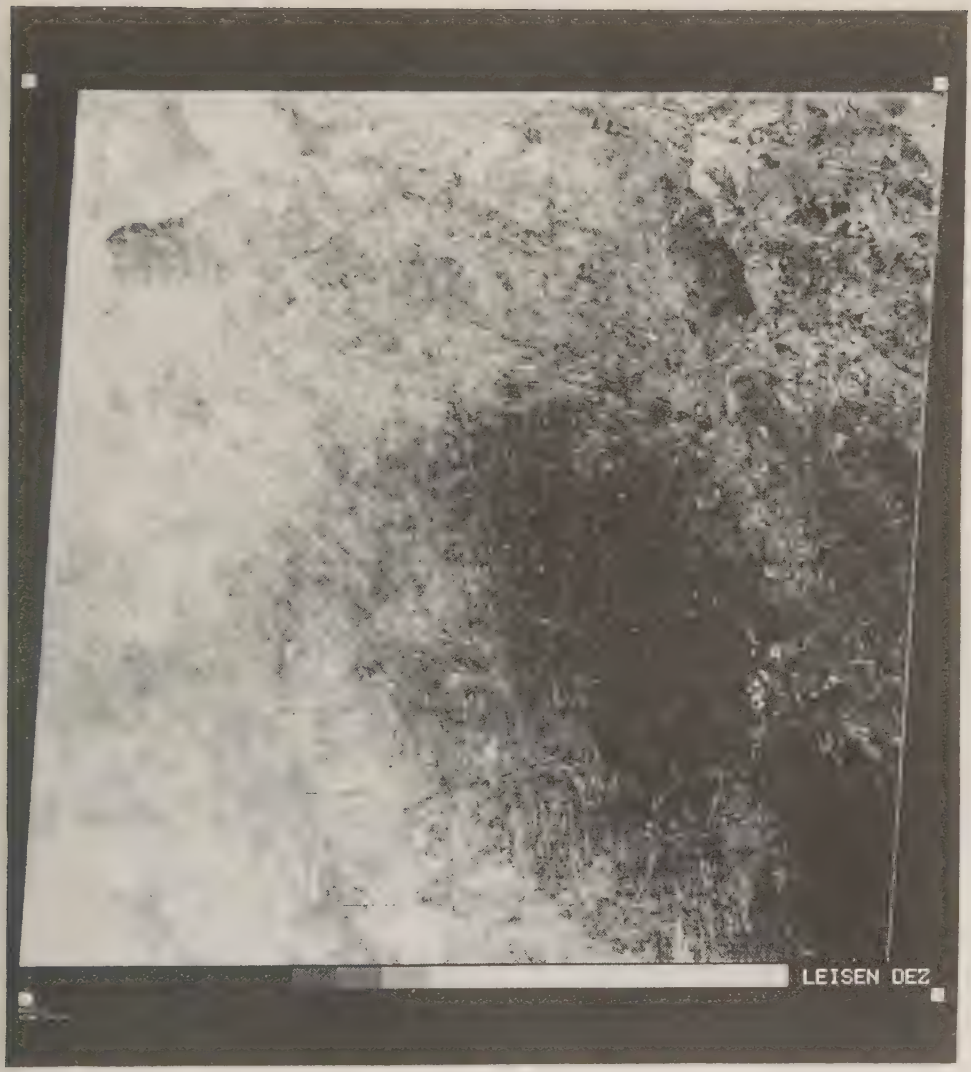
Anhang I 6/3:
S/W Ratio MSS 5/MSS 6; Landsataufnahme vom 14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 1 200 000



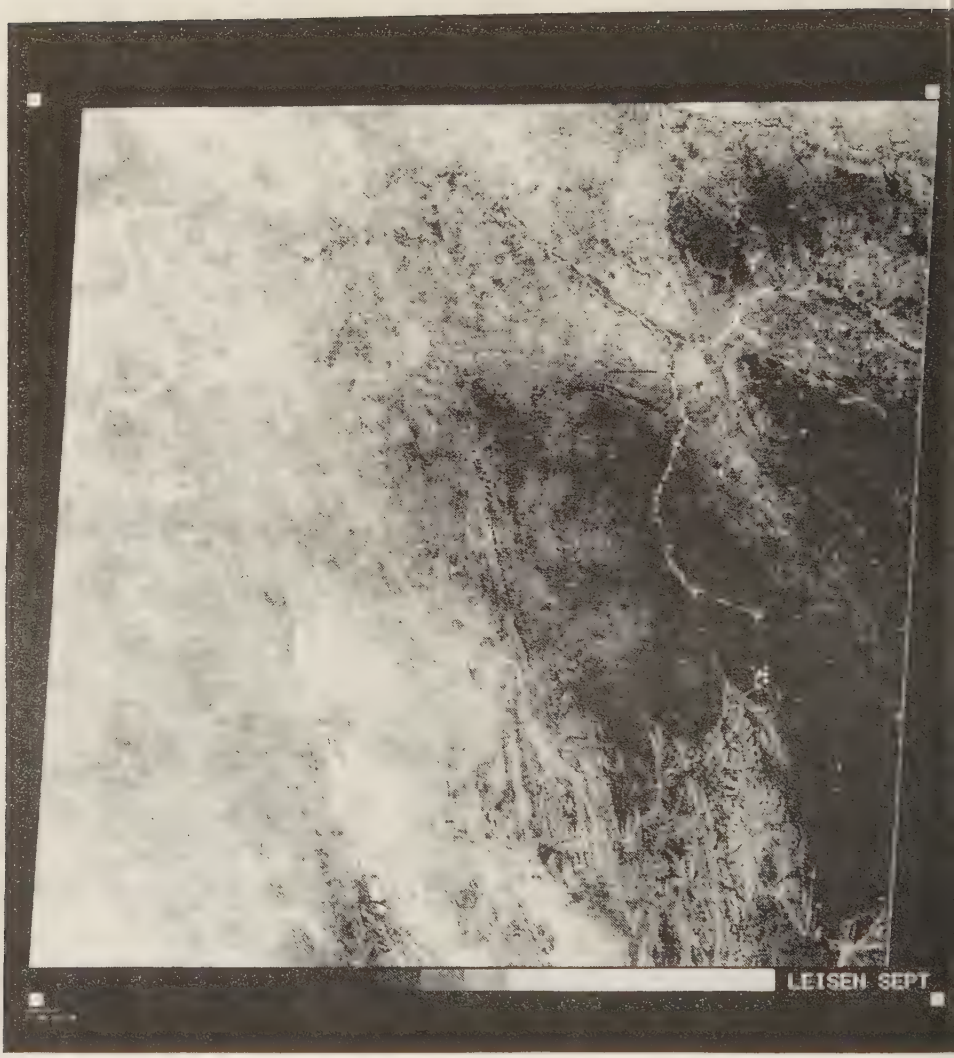
Anhang I 6/4:
S/W Ratio MSS 5/MSS 6; Landsataufnahme vom 07.12.1975
Maßstab ca. 1 : 1 200 000



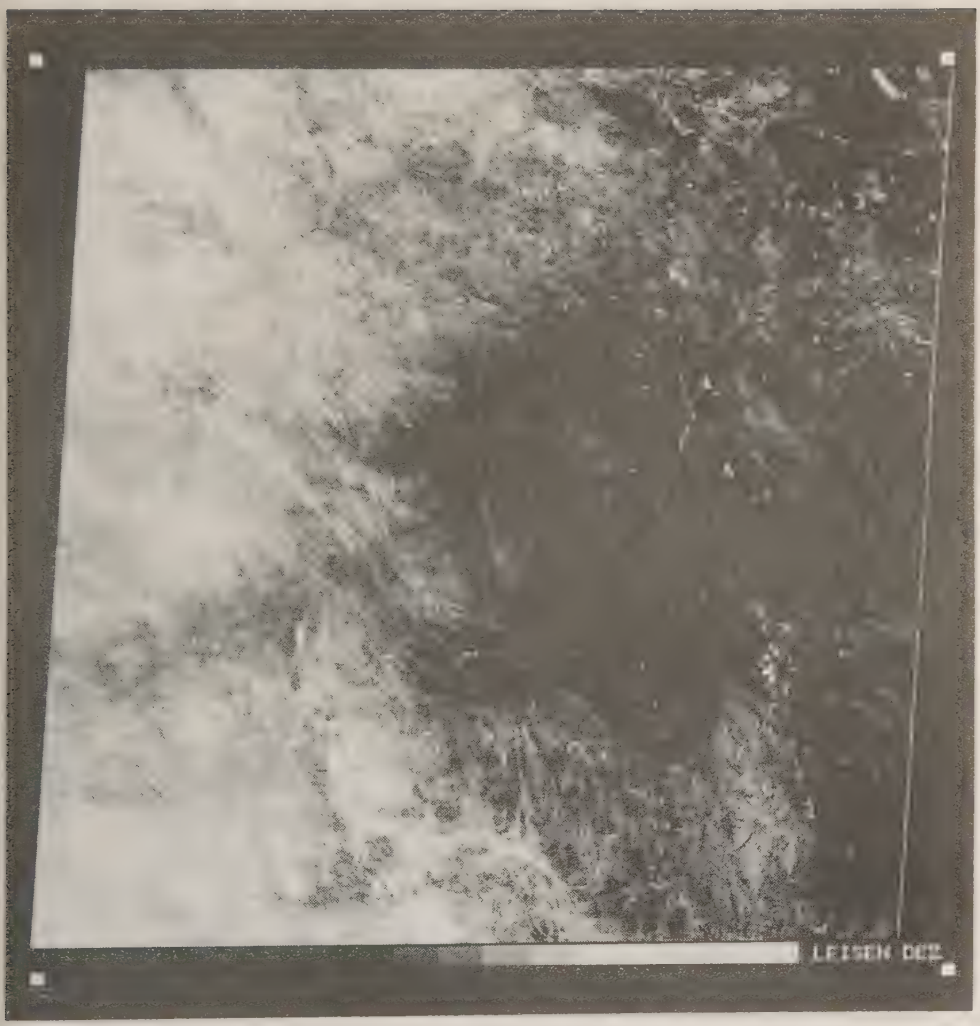
Anhang I 6/5:
S/W Ratio MSS 6/MSS 7; Landsataufnahme vom 14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 1 200 000



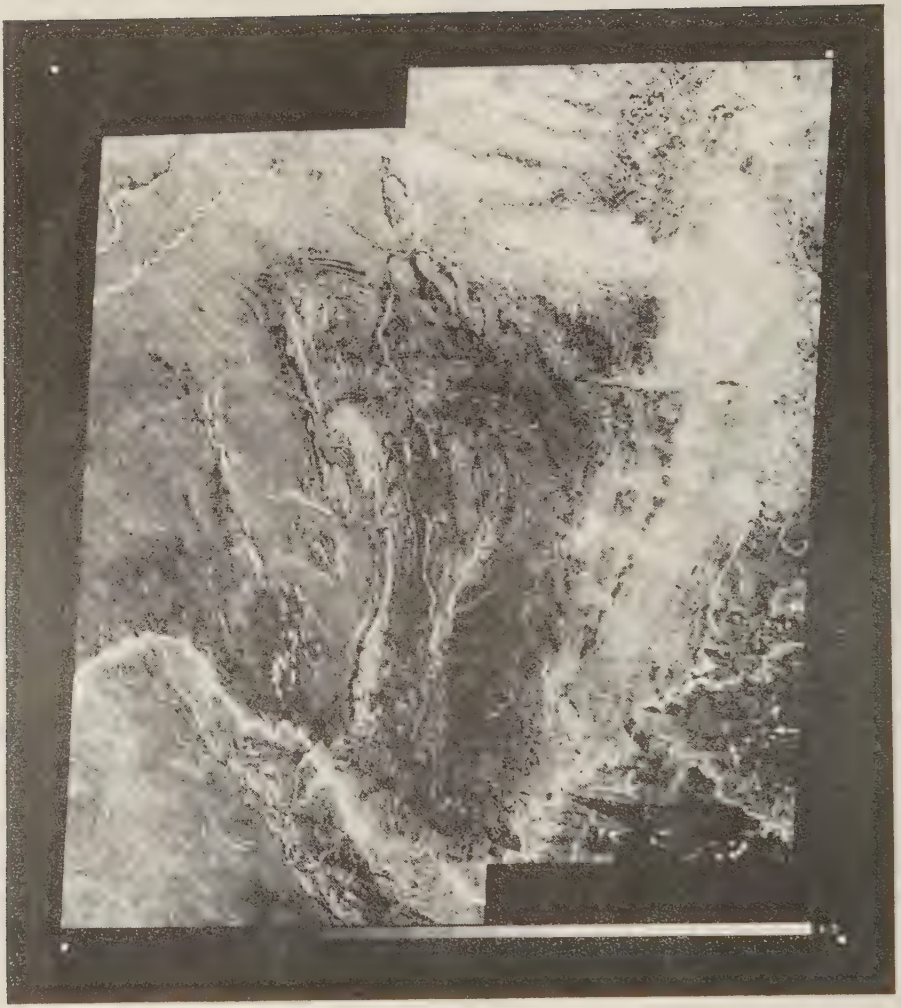
Anhang I 6/6:
S/W Ratio MSS 6/MSS 7; Landsataufnahme vom 07.12.1975
Maßstab ca. 1 : 1 200 000



Anhang I 6/7:
S/W Ratio MSS 5/MSS 7; Landsataufnahme vom 14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 1 200 000

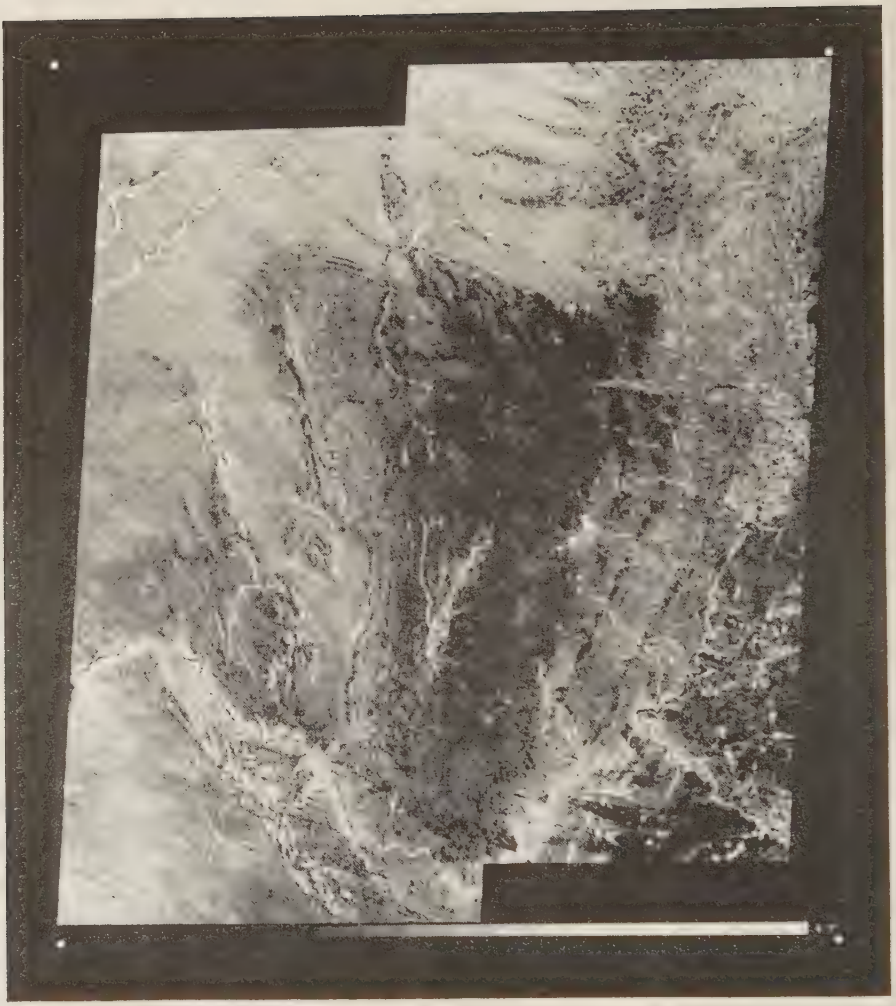


Anhang I 6/8:
S/W Ratio MSS 5/MSS 7; Landsataufnahme vom 07.12.1975
Maßstab ca. 1 : 1 200 000



Anhang I 7/1:
S/W Ratiomosaik MSS 4/MSS 5; Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 2 300 000

Anhang I 7/2:
S/W Ratiomosaik MSS 5/MSS 7; Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 2 300 000



Anhang I 7/3:
S/W Ratiomosaik MSS 4/MSS 7; Landsataufnahmen vom 13./14.09.1972
Maßstab ca. 1 : 2 300 000

Anhang I 8:
Thermal-IR-Luftbild; nördl. Maremane Dom (nicht entzerrt)
Maßstab ca. 1 : 160 000
Die 'Sinkholes' sind auf Grund ihres zur Umgebung unterschiedlichen thermischen Verhaltens als helle (sehr hohe Rückstrahlung), z.T. kreisrunde Strukturen hervorragend zu erkennen.

ANHANG II: Kartenteil

Satellitenbild- und Luftbildauswertung

Legende

1. Geologische Karte
2. Tektonische Karte
3. Lineamentkarte
4. Gewässernetzkarte
5. Luftbildauswertung des Maremane Doms

(Die Karten befinden sich als Anlage in der Tasche des rückwärtigen Einbandes)

Luftbildkartierungen der Bereiche Hotazel-Mamatwan-[illegible], [illegible], Whitebank, Rooinekke Mine, Koegas, Olifantshoek-Langklof und Witsand befinden sich im Text.

LEGENDE ZUM KARTENTEIL (1)

Gesteine	Glied	Formation	Gruppe	Sequenz / Supergroup	Ära
Kalaharisande, Kalkkrusten Alluvionen, Schutt					TERTIAER QUARTAER
Dünen					
Tillit, Tonschiefer, Diabas Konglomerat		Dwyka Formation		KAROO SEQUENZ	PERM - JU
Quarzit, Sandstein, Tonschiefer Andesit, Grauwacken, Konglomerat				OLIFANTSHOEK SEQUENZ (WATERBERG SUPERGROUP)	PROTEROZOIKUM
Banded Iron Stone, Hornstein Jasper, Lava, Manganerz		Voelwater Formation	COX GRUPPE	GRIQUALAND WEST SEQUENZ (TRANSVAAL SUPERGROUP)	
Andesitische Laven		Ongeluk Formation			
Diamiktite, Jasper, Sandst., Mergel Quarzit, Tonschiefer, Kongl., Kies		Makganyene & Gamagara Formation	POSTMASBURG GRUPPE		
Jaspilit, Banded Iron Stone, Quarzit Sandst., Amphibolit, Asbest		Koegas Formation	GRIQUATOWN GRUPPE		
Banded Iron Stone, Jaspilit, Amphibolit, Asbest, Eisenreicherz		Anbenton Hills Banded Ironstone Formation			
Dolomit, Kalk, Hornstein mit rezenten Kalkkrusten		Ghaap Plateau Formation	CAMPBELL GRUPPE		
Dolomit Kalkstein Hornstein Dolomitischer Kalkstein	Lime Acres Glied				
Dolomit mit Hornstein	Fairfield Glied				
Banded ironstone marker	Ulco Glied				
Dolomit mit Hornstein und Kalkstein					
Dolomit, Tonschiefer Siltstein, Quarzit		Schmidtsdrif Formation			
Dolomit mit Tonschiefer, Kalkstein, Sandstein					
Tonschiefer, Quarzit Siltstein, Lava		Vryburg Formation			
Andesitische Laven				VENTERSDORP SUPERGROUP	
Granit		Skalkseput & Draghoender Formation			

LEGENDE ZUM KARTENTEIL (2)

Kleinmulde

Kleinsattel

Großmulde

Großsattel

Großlineament
Störung

Abschiebung

Überschiebung

Blattverschiebung

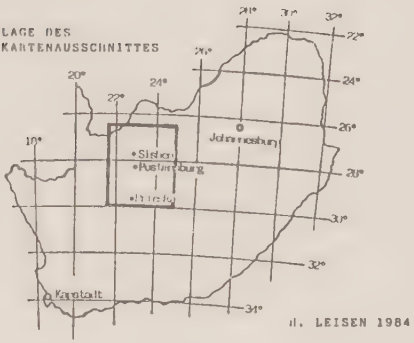
Negative (—·—) &
positive (—··—)
Schwereanomalie-Trend-
linien (Bouger Schwere)

Gänge

Schichtköpfe

Abbruchkante

Kimberlitschlot
(aus VISSER, 1984)



n. LEISEN 1984

ANHANG III: Kleintektonische Diagramme

Ausgewählte Summendiagramme,
zusammengestellt nach regionalen Bereichen.

1. Maremane Dom

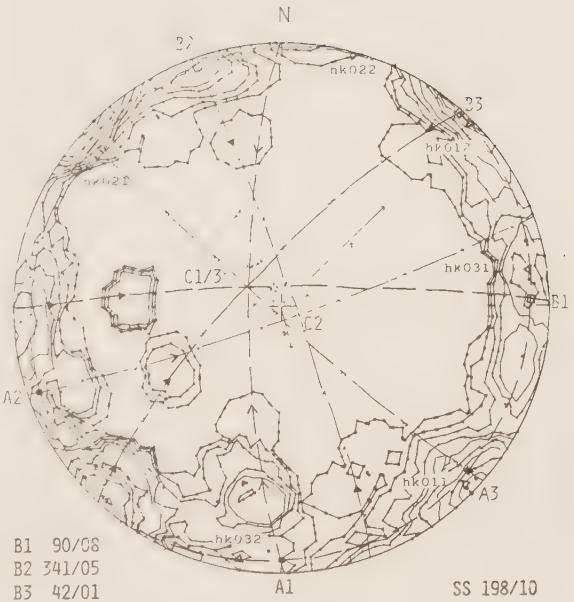
2. Kalahari-Mangan-Feld

3. Ghaap Plateau und Kuruman bzw. Asbestos Hills

4. Griquatown - Rooinekke

5. Koegas

6. Lange- und Korannaberge

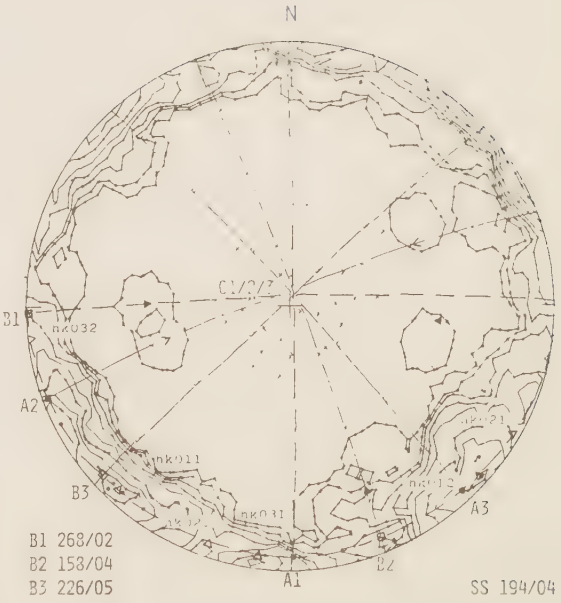


B1 90/08
B2 341/05
B3 42/01

SS 198/10

RSA 55 SISHEN V LYLY FE ORE 171/20

B1		B2		B3	
hk0	15.3:9.1% 86°nA	hk0	3.1:1.1% 70°nA	hk0	5.1:1.1% 76°nA
0k1	2.1:1.1% 30°nC	0k1	.5:.5% 60°nc	0k1	3.1:.5% 30°nC
	1.1:0% 40°nC	h01	.5:0% 70°nA	h01	-
h01	5.1:0% 110°nA	ac	3.1%	ac	13.9%
ac	5.1	bc	1.1% 9.9%	bc	hk011 23.7%
bc	hk032 39.7%				



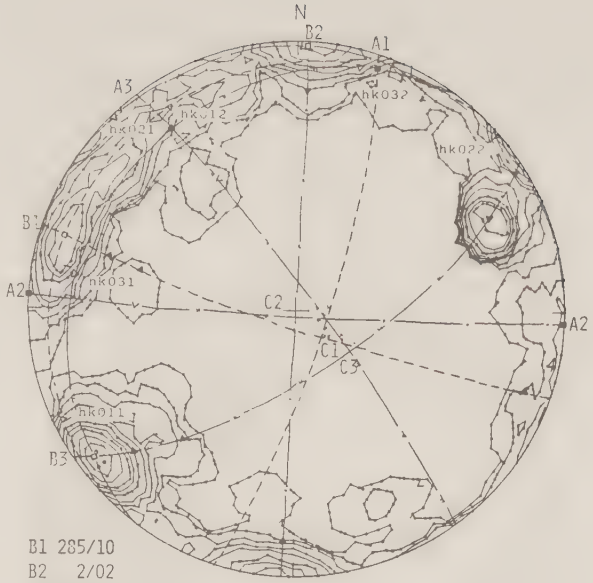
B1 268/02
B2 158/04
B3 226/05

SS 194/04

RSA 57 SISHEN VII G39 FE ORE 210/24

B1		B2		B3	
hk0	ac3:13.9% 90°	hk0	5.1:3.1% 80°nA	hk0	7.1:3.1% 76°nA
0k1	.5:.5% 80°nC	0k1	1.1:1.1% 40°nC	0k1	-
h01	-	h01	.5:.5% 80°nA	h01	-
ac	2.1%	ac	2.1%	ac	15.3%
bc	hk031 17.0%	bc	7.1% 20.6%	bc	hk012 [illegible]

Anhang III 1/2:
Maremane Dom

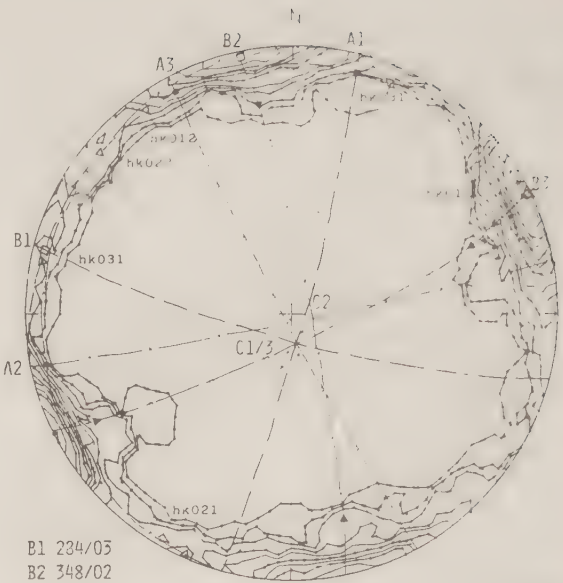


B1 285/10
B2 2/02
B3 233/07

SS 308/10

RSA 56 SISHEN VI AF II FLAGST 216/10

B1		B2		B3	
hk0 5.1:3.1% 82°nA		hk0 7.1:2.1% 90°		hk0 5.1:5.1% 86°nA	
0kl -		0kl 1.1:1.1% 34°nc		0kl 9.1:1.1% 60°nA	
h0l -		h0l -		h0l .5:.5% 70°nC	
ac 9.1&		ac 9.1%		ac 19.3%	
bc hk032	17.3%	bc 1.1%	21.6%	bc hk011	40.7%

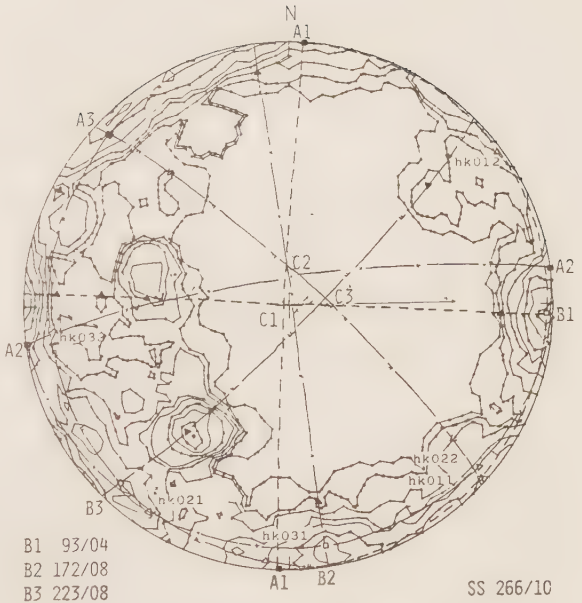


B1 234/03
B2 348/02
B3 62/02

SS 350/08

RSA 54 SISHEN IV AF I FLAGST 213/07

B1		B2		B3	
hk0 ac3:3.1% 78°nA		hk0 2.1:2.1% 7?°nA		hk0 1.1 1.1% ?(°nA	
0kl -		0kl -		0kl 2.1:1.1% 40°nC	
h0l -		h0l -		h0l -	
ac 1.1%		ac 12.1%		ac 27.3%	
bc 1.1%	32.6%	bc 2.1%	12.1%	bc hk0??	??.?%

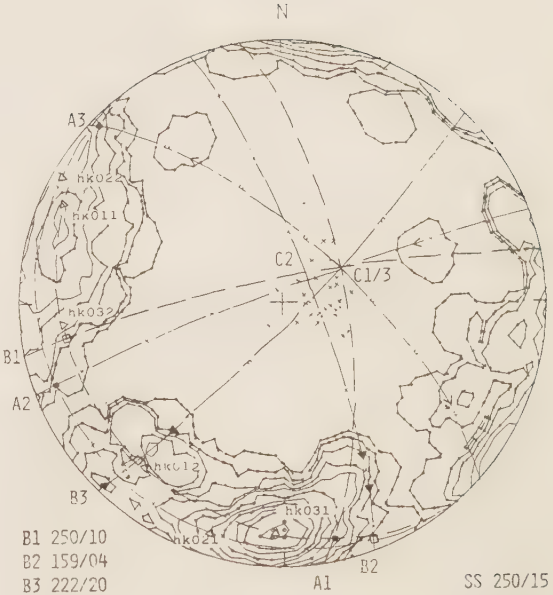


B1 93/04
B2 172/08
B3 223/08

SS 266/10

RSA 151 SISHEN I AB H3 FE ORE 232/11

B1		B2		B3	
hk0	5.1:1.1% 80°nA	hk0	5.1:3.1% 82°nA	hk0	3.1:1.1% 85°nA
0kl	1.1:1.1% 30°nC	0kl	-	0kl	11.3:1.1% 60°nC
	3.1:0% 80°nC	h0l	3.1:0% 80°nA	h0l	-
h0l	-	ac	7.1%	ac	3.1%
ac	9.1%	bc	acl 18.4%	bc	hk011 19.7%
bc	hk031 20.6%				



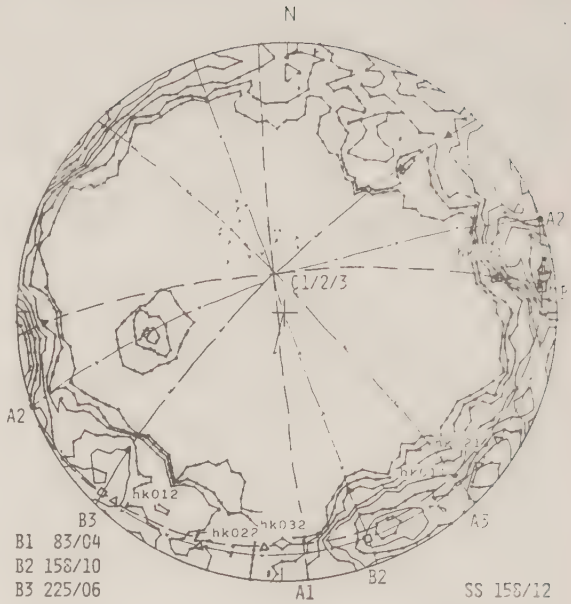
B1 250/10
B2 159/04
B3 222/20

SS 250/15

RSA 52 SISHEN II H2 QZ 237/27

B1		B2		B3	
hk0	7.1:3.1% 70°nA	hk0	5.1:3.1% 80°nA	hk0	21.1:5.1% [illegible]
0kl	-	0kl	2.1:0% 40°nC	0kl	2.1:1.1 [illegible]
h0l	-	h0l	.5:0% 70°nA	h0l	-
ac	1.1°	ac	1.1%	ac	3.1°
bc	hk031 11.3%	bc	- 11.9%	bc	1.1° 32.[illegible]

Anhang III 1/4:
Maremane Dom



B1 83/04
B2 158/10
B3 225/06

SS 158/12

RSA 53 SISHEN III H4 FE ORE 229/17

B1		B2		B3	
hk0	9.1:3.1% 84°nA	hk0	5.1:1.1% 78°nA	hk0	12.7:2.1% 80°nA
0kl	1.1:1.1% 40°nC	0kl	-	0kl	3.1:1.1% 40°nC
h0l	-	h0l	1.1:0% 80°nA	h0l	-
ac	9.1%	ac	7.1%	ac	3.1%
bc	- 23.5%	bc	3.1% 17.5%	bc	hk011 22.1%

B1 275/20
B2 191/10
B3 231/24

SS 270/10

RSA 26 AUCAMPSRUS I SHALE 205/19

B1		B2		B3	
hk0	ac3:8.1% 84°nA	hk0	3.1:2.1% 80°nA	hk0	1.1:1.1% 90°
0k1	1.1:1.1% 40°nC	0k1	1.1:.5% 40°nC	0k1	5.1:1.1% 70°nC
	3.1:0% 80°nC	h01	.5:.5% 60°nA	h01	1.1:1.1% 55°nA
h01	3.1:.5% 100°nA	ac	3.1%	ac	8.1%
ac	2.1%	bc	.5% 11.4%	bc	hk012 18.7%
bc	hk032 19.1%				

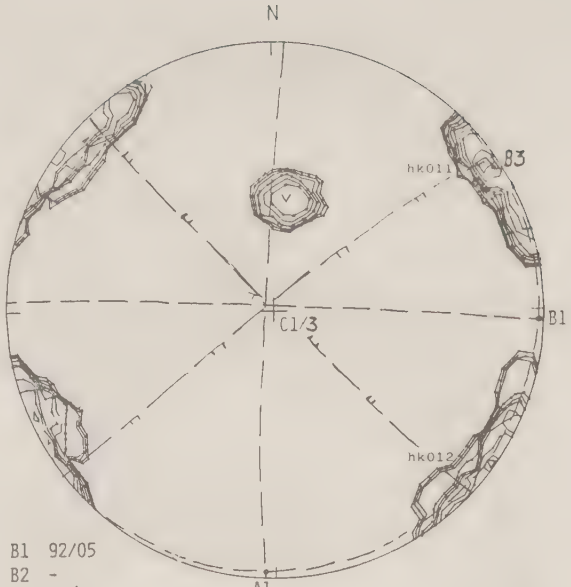
HF 1: h013
2: hk032
3: hk032

B1 286/08
B2 246/09
B3 210/18

SS 297/14

RSA 11 PENSFONT I WHK 230/10

B1		B2		B3	
hk0	9.5:ac3% 78°nA	hk0	3.1:1.1% 80°nA	hk0	5.1:3.1% 84°nA
0k1	1.1:1.1% 50°nC	0k1	3.1:.5% 50°nC	0k1	1.1:1.1% 40°nC
h01	1.1:.5% 60°nA	h01	1.1:.5% 45°nA	h01	1.1:0% 50°nA
ac	5.1%	ac	5.1%		2.1:.5% 110°nA
bc	.1% 18.5%	bc	hk031 14.5%	ac	8.8%
				bc	hk011 22.9%

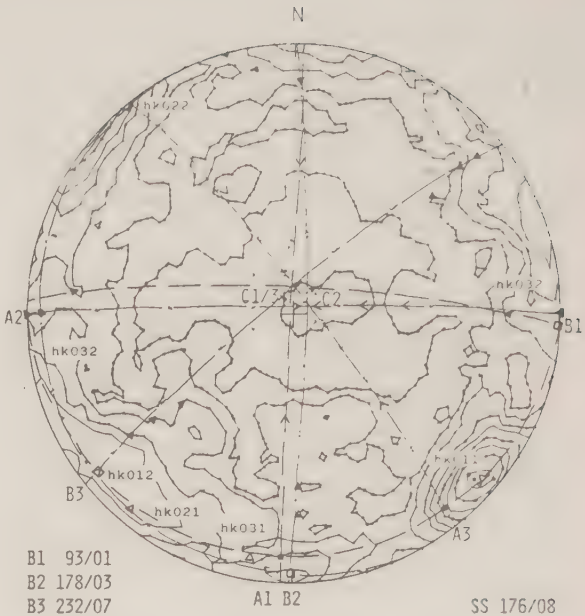


B1 92/05
B2 -
B3 60/07

SS 115/05

RSA 69 PENSFONTEIN III DOLO 039/06

B1			B3
hk0	21.5:20.5%	70°nA	hk0
0kl	-		
h0l	9.1:0%	64°nA	
ac	-		ac hk011
bc	-	50.7%	bc hk012

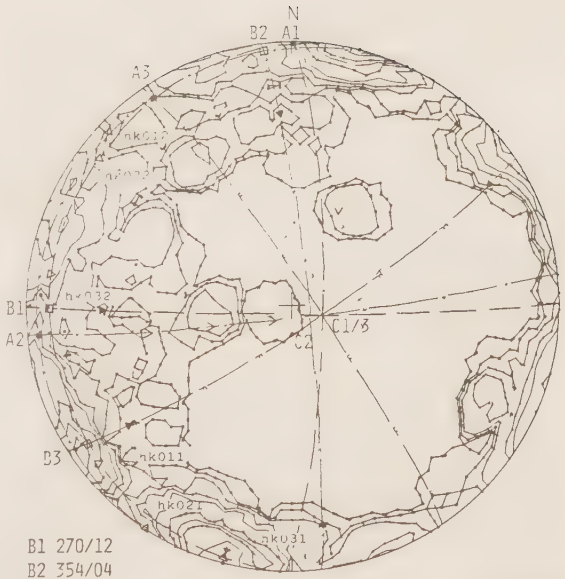


B1 93/01
B2 178/03
B3 232/07

SS 176/08

RSA 112 PENSFONT II AB DOLO 638/20

B1			B2			B3		
hk0	13.3:3.1%	80°nA	hk0	5.1:3.1%	80°nA	hk0	2.1:1.1%	80°nA
0kl	1.1:1.1%	40°nC	0kl	1.1:1.1%	40°nC	0kl	3.1:2.1%	20°nC
h0l	.5:.1%	80°nA	h0l	.5%	0°	h0l	.5:.1%	80°nA
ac	1.1%		ac	3.1%		ac	3.1%	
bc	hk031	20.3%	bc	hk032	14.0%	bc	hk011	12.1%

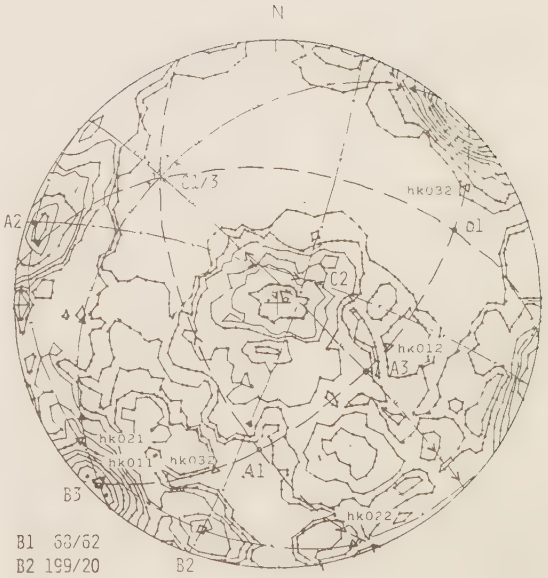


B1 270/12
B2 354/04
B3 235/08

SS 270/12

RSA 25 KOEISPEEN FE ORE 175/10

B1	B2	B3
hk0 5.1:1.1% 80°nA	hk0 3.1:1.1% 80°nA	hk0 15.8:3.1% 80°nA
0k1 -	0k1 1.1:1.1% 50°nC	0k1 1.1:.5% 40°nC
h0l .5:0% 60°nA	h0L 1.1:0% 60°nA	h0l -
ac 2.1	ac 2.1	ac 9.1%
bc hk031 8.8%	bc ac1 9.6%	bc - 29.6%

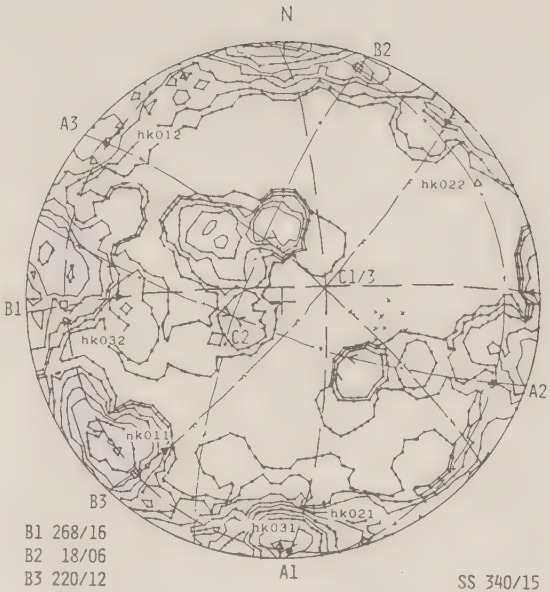


B1 68/62
B2 199/20
B3 225/05

SS 138/55

RSA 10 MANGANORE I FE ORE 226/07

B1	B2	B3
hk0 ac3:1.1% 70°nA	hk0 3.1:1.1% 72°nA	hk0 1.1:1.1% 90°
0k1 9.1:0% 80°nC	0k1 -	0k1 3.1:1.1% 34°nC
h0L 1.1:1.1% 74°nA	h0l 5.1:3.1% 20°nA	h0l 1.1:1.1% 80°nA
ac -	ac 3.1%	ac 20.4%
bc - 12.4%	bc 0k111 15.5%	bc hk012 39.0%

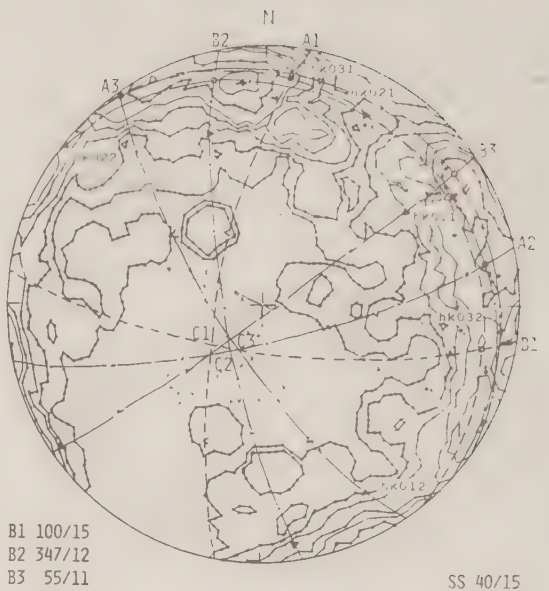


B1 268/16
B2 18/06
B3 220/12

SS 340/15

RSA 62 LOHATLHA II SHALE 175/28

B1		B2		B3	
hk0	7.1:2.1% 80°nA	hk0	3.1:.5% 78°nA	hk0	17.5:3.1% 85°nA
0kl	2.1:1.1% 40°nC	0kl	-	0kl	2.1:1.1% 36°nC
h0l	-	h0l	.5:0 0°nA	h0l	3.1:1.1% 60°nA
ac	3.1%		1.1:1.1 76°nA		3.1:.5% 70°nA
bc	hk031 15.5%	ac	3.1%	ac	3.1%
		bc	1.1% 10.5%	bc	hk012 34.7%



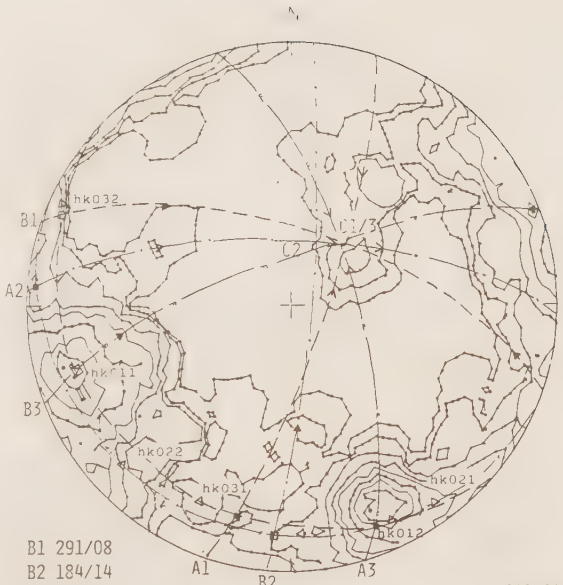
B1 100/15
B2 347/12
B3 55/11

SS 40/15

RSA 03 GLOSAM III SHALE 395/16

B1		B2		B3	
hk0	5.1:3.1% 80°nA	hk0	2.1:1.1% 78°nA	hk0	3.1:2.1% 82°nA
0kl	-	0kl	2.1:1.1% 40°nC	0kl	1.1:1.1% 40°nC
h0l	.5:.1% 65°nA	h0l	.5:.5% 80°nA	h0l	-
ac	3.1%	ac	9.6%	ac	7.1%
bc	hk032 11.9%	bc	hk031 17.0%	bc	3.1% 17.6%

HF 1: ac1 4: ac1
2: hk012 5: ac1
3: ac1 6: ac2

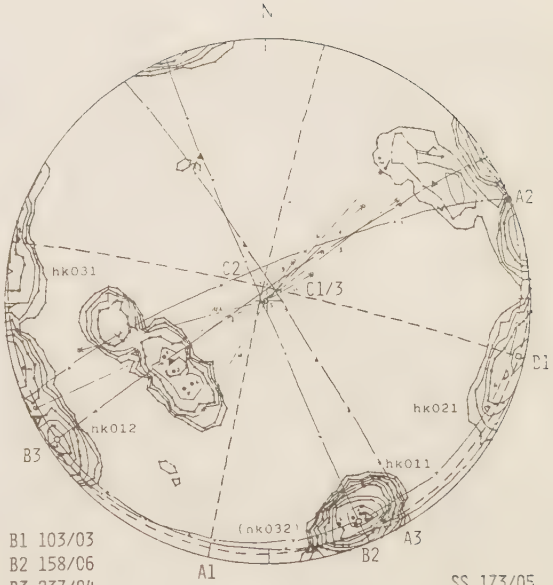


B1 291/08
B2 184/14
B3 253/16

SS 219/20

RSA 58 BISHOP MN ORE 269/11

B1		B2		B3	
hk0 ac3:9.1% 84°nA		hk0 3.1:2.1% 80°nA		hk0 1.1:1.1% 80°nA	
0kl -		0kl .5:0% 72°nC		0kl 5.1:3.1% 40°nC	
h0l 1.1:1.1% 30°nA		h0l 1.1:0% 20°nA		h0l 1.1% 0°nA	
ac 1.1%		ac 1.1%		ac 11.9%	
bc hk032	12.4%	bc 1.1%	9.0%	bc hk012	23.4%



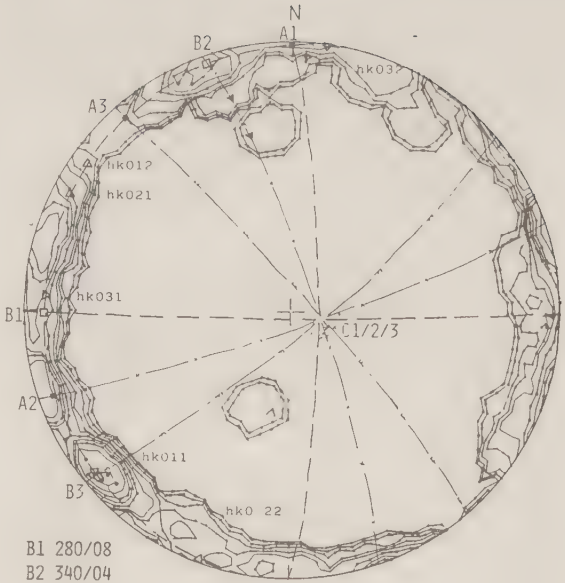
B1 103/03
B2 158/06
B3 237/04

SS 173/05

RSA 67 PALING I SHALE 107/07

B1		B2		B3	
hk0 24.5:5.1% 90°		hk0 5.1:0% 80°nA		hk0 5.1:0% 80°nA	
0kl -		0kl -		0kl 9.1:2.1% 70°nC	
h0l -		h0l 5.1:2.1% 80°nA		h0l -	
ac 7.1%		ac hk011		ac 9.1%	
bc -	36.7%	bc hk012	12.3%	bc hk011	25.4%

HF 1: hk011 5: ac3 9: ac1
2: hk011 6: 0k131/h0121 10: 0k131/h0121
3: 0k121 7: 0k131/h0L21 11: ac3
4: 0k131 8: hk011

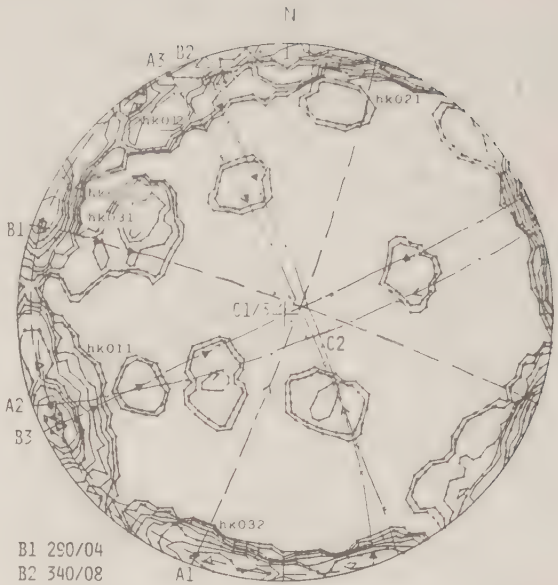


B1 280/08
B2 340/04
B3 230/06

SS 293/10

RSA 39 MAMATWAN I MN ORE 118/08

B1		B2		B3	
hk0	10.1:2.1% 74°nA	hk0	5.1:2.1% 80°nA	hk0	7.1:3.1% 84°nA
0kl	-	0kl	1.1:0% 40°nC	0kl	-
h0l	(.5:0% 60°nA)		(.5:0% 60°nC)	h0l	-
ac	7.1%	h0l	-	ac	16.4%
bc	hk032 19.8%	ac	9.1%	bc	1.1% 27.7%
		bc	9.1% 27.0%		

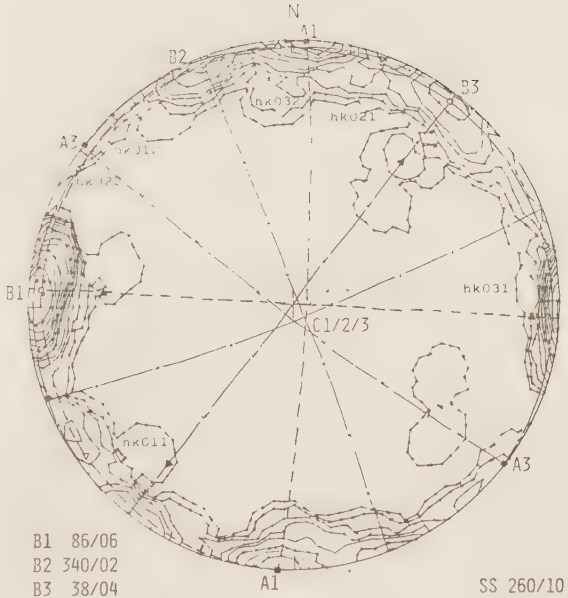


B1 290/04
B2 340/08
B3 243/07

SS 210/04

RSA 40 MAMATWAN II MN ORE 105/07

B1		B2		B3	
hk0	5.1:3.1% 70°nA	hk0	3.1:2.1% 80°nA	hk0	15.1:12.1% 90°
0kl	3.1:0% 50°nC	0kl	5.1:1.1% 26°nC	0kl	2.1:1.1% 302nC
	1.1:0% 100°nC	h0l	1.1:.5% 64°nA	h0l	1.1:.5% 70°nA
h0l	1.1:0% 60°nA	ac	3.1%	ac	16.3%
ac	hk031	bc	ac3 16.6%	bc	hk012 49.9%
bc	hk032 13.5%				

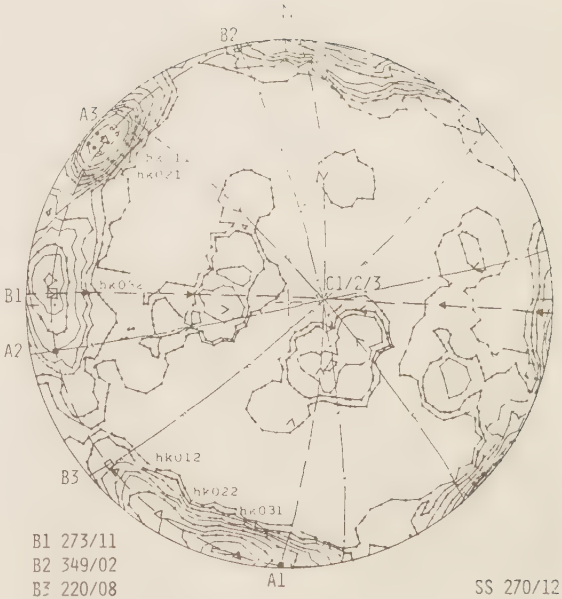


B1 86/06
B2 340/02
B3 38/04

SS 260/10

RSA 09 DEVON MN ORE 204/03

B1		B2		B3	
hk0	2.1:1.1% 80°nA	hk0	5.1:.5% 75°nA	hk0	9.1:7.1% 84°nA
0k1	1.1:1.1% 40°nC	0k1	-	0k1	1.1:.5% 60°nC
h01	-	h01	-	h01	-
ac	36.5%	ac	7.1%	ac	5.1%
bc	hk032 41.9%	bc	2.1% 14.8%	bc	.5% 23.4%

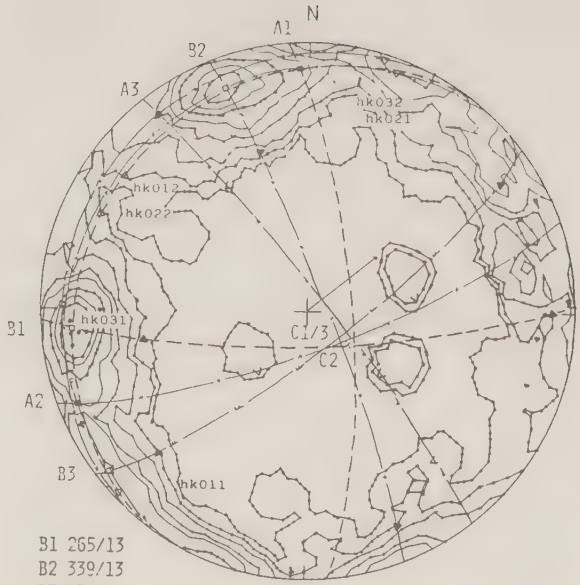


B1 273/11
B2 349/02
B3 220/08

SS 270/12

RSA 08 SMARTT MN ORE 245/15

B1		B2		B3	
hk0	22.8:2.1% 84°nA	hk0	9.1:7.1% 80°nA	hk0	15.1:9.1% 80°nA
0k1	1.1:1.1% 20°nC	0k1	-	0k1	-
	1.1:0% 80°nC	h01	1.1:0% 0°nA	h01	1.1:0% 30°nA
h0L	1.1:0% 25°nA		1.1:.5% 85°nA		(.5:0% 80°nA)
ac	hk031	ac	1.1%	ac	1.1%
bc	(hk032) 29.3%	bc	hk031 20.0%	bc	hk011 26.9%

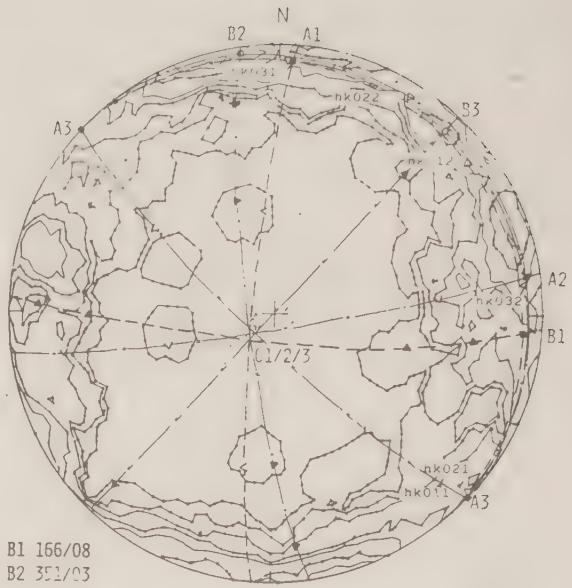


B1 265/13
B2 339/13
B3 230/06

SS 303/16

RSA 43 HOTAZEL I BIS/MN ORE 471/61

B1		B2		B3	
hk0 5.1:1.1% 80°nA		hk0 5.1:.5% 82°nA		hk0 12.1:5.1% 76°nA	
0kl 1.1:1.1% 40°nC		0kl .5:.5% 50°nC		0kl 3.1:.5% 40°nC	
h0l -		h0l -		h0l .5:.5% 70°nC	
ac hk031		ac 9.1%		ac 5.1%	
bc 3.1%	11.5%	bc 3.1%	18.8%	bc 2.1%	29.0%



B1 166/08
B2 351/03
B3 317/08

SS 50/08

RSA 44 HOTAZEL II BIS/MN ORE 334/15

B1		B2		B3	
hk0 3.1:2.1% 80°nA		hk0 3.1:2.1% 80°nA		hk0 5.1:3.1% 70°nA	
0kl 3.1:1.1% 40°nC		0kl 1.1:.5% 40°nC		0kl 1.1:.5% 40°nC	
h0l -		h0l 2.1:1.1% 60°nC		h0l -	
ac 2.1%		ac 9.6%		ac 5.1%	
bc 3.1%	14.6%	bc 3.1%	22.7%	bc 1.1%	16.0%

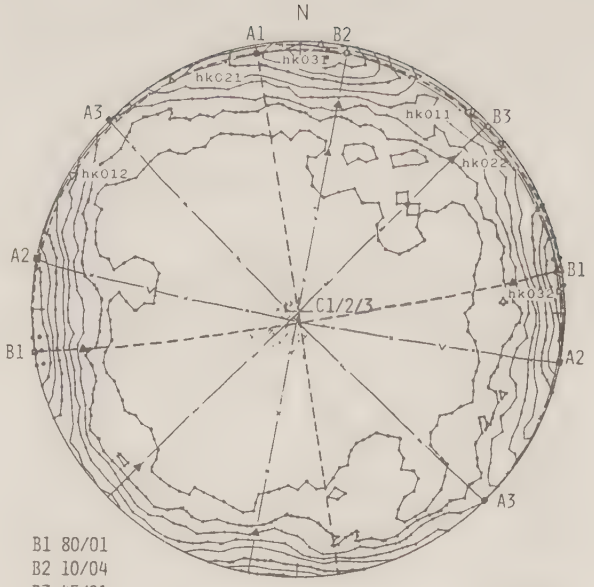
B1 104/04
B2 170/03
B3 56/20

SS 75/20

RSA 64 BLACK ROCK II BIS (V) 147/01

B1		B2			B3		
hkO	12.1:9.1% 90°	hkO	5.1:3.1% 70°nA	hkO	-		
Okl	-	Okl	3.1:2.1% 50°nC	Okl	3.1:3.1%	26°nC	
hOl	-	hOL	-		5.1:0%	50°nC	
ac	-	ac	2.1	hOl	-		
bc	-	21.2%	bc 5.1&	20.6%	ac	15.4%	
					b`	hk011	

Anhang III 2/4
Kalahari-Mangan-Feld

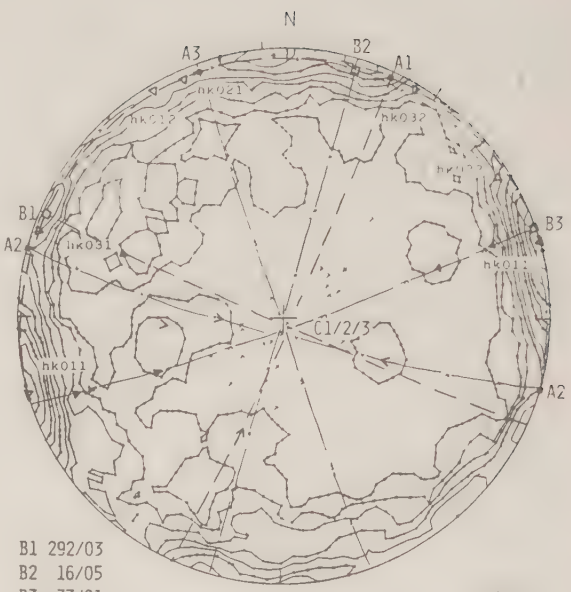


B1 80/01
B2 10/04
B3 45/01

SS 05/04

RSA 148 FINCH I/II BIF (A) 851/31

B1		B2		B3	
hk0 3.1:2.1% 78°nA		hk0 3.1:2.1% 80°nA		hk0 13.7:11.5% 80°nA	
0kl 1.1:1.1% 40°nC		0kl 1.1:1.1% 40°nC		0kl .5:.5% 40°nC	
h0l -		h0l -		h0l -	
ac hk031		ac 11.5%		ac 3.1%	
bc hk032	25.9%	bc 7.1%	26.3%	bc .5%	30.0%

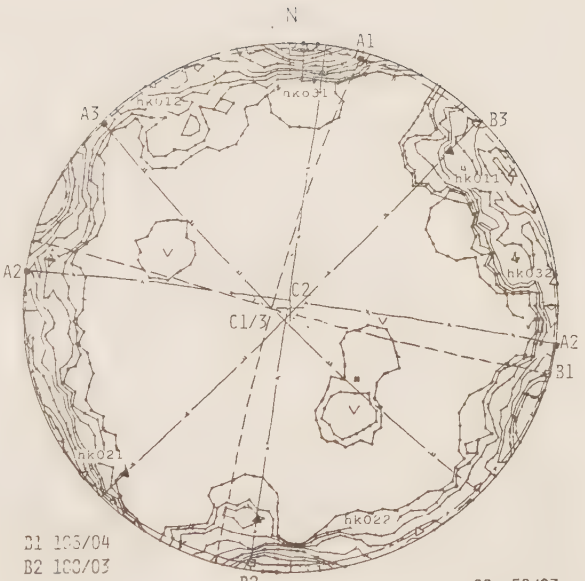


B1 292/03
B2 16/05
B3 73/01

SS 340/04

RSA 50 CAMPBELL DOLOMITE 394/22

B1		B2		B3	
hk0 18.2: 3.1% 80°nA		hk0 3.1:2.1% 80°nA		hk0 3.1:3.1% 82°nA	
0kl .5:0% 80°nC		0kl -		0kl 2.1:2.1% 30°nC	
h0l -		h0l -		.5:.1% 80°nC	
ac 3.1%		ac 7.1%		h0l -	
bc hk032	24.9%	bc hk031	12.3%	ac 18.2%	
				bc 3.1%	32.1

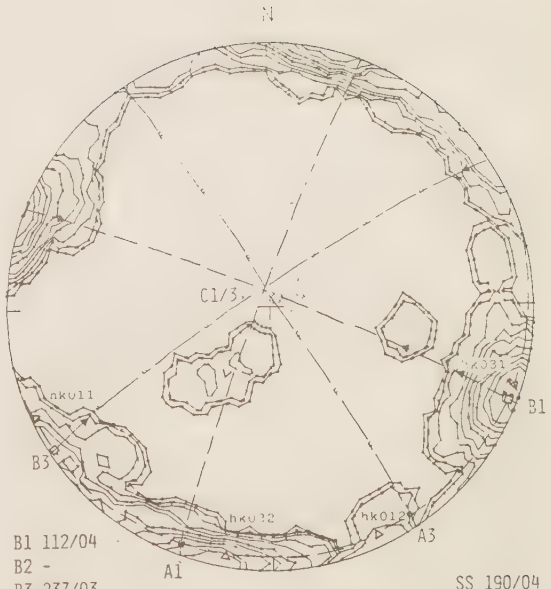


B1 103/04
B2 103/03
B3 45/04

SS 52/03

RSA 42 WARRENDALE BIF (A) 159/14

B1	B2	B3
hk0 12.1:3.1% 90°	hk0 7.1:3.1% 80°nA	hk0 16.7:5.1% 82°nA
0kl -	0kl 3.1:1.1% 30°nC	0kl 3.1:1.1% 30° nC
h0l -	h0l .1:.1% 60°nA	h0l .5:.5% 70°nA
ac 7.1%	ac hk031	ac 7.1%
bc 3.1% 25.4%	bc 2.1% 16.8%	bc 1.1% 34.8%

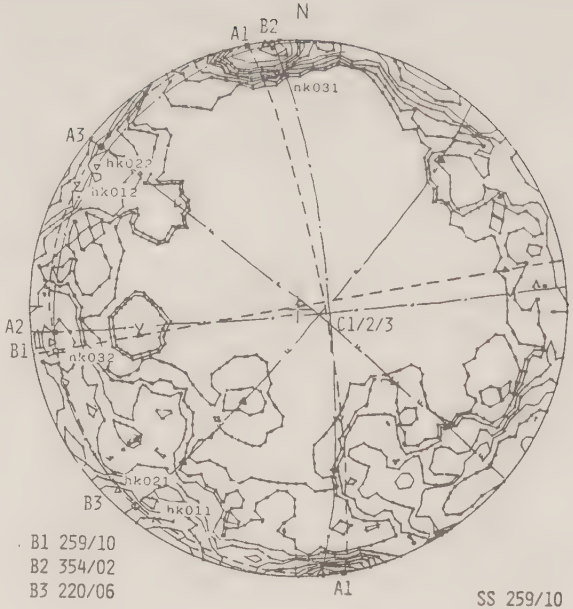


B1 112/04
B2 -
B3 237/03

SS 190/04

RSA 46 KURUMAN III BIF (A) 152/10

B1	B2	B3
hk0 2.1:1.1% 80°nA	-	hk0 22.1:15.1% 90°
0kl 3.1:2.1% 40°.C		0kl -
h0l 1.1:0% 50°nA		h0l -
ac hk031		ac 3.1%
bc hk032 9.5%		bc - 40.3%

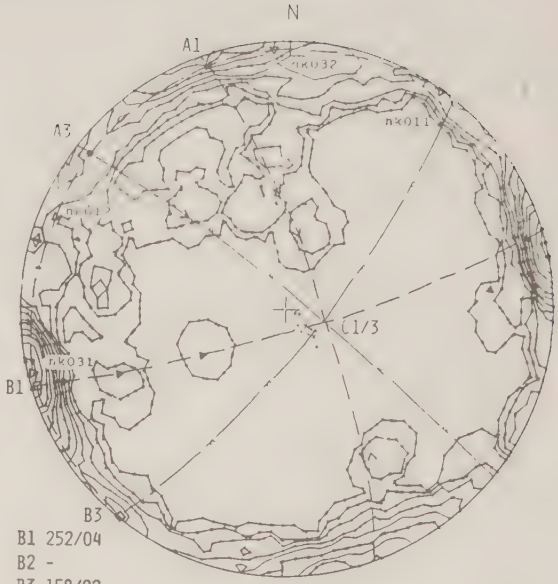


B1 259/10
B2 354/02
B3 220/06

SS 259/10

RSA 29 OUDEPLAAS DOLOMITE 168/10

B1	B2	B3
hk0 5.1:3.1% 80°nA	hk0 3.1:2.1% 76°nA	hk0 17.5:3.1% 90°
0kl -	0kl 2.1:0% 70°nC	0kl 1.1:1.1% 50°nC
h0l 1.1:0% 80°nA	h0l -	h0l 1.1:0% 60°nA
ac 2.1	ac hk031	ac 3.1
bc hk031 10.5%	bc hk032 7.3%	bc 1.1 29.7%

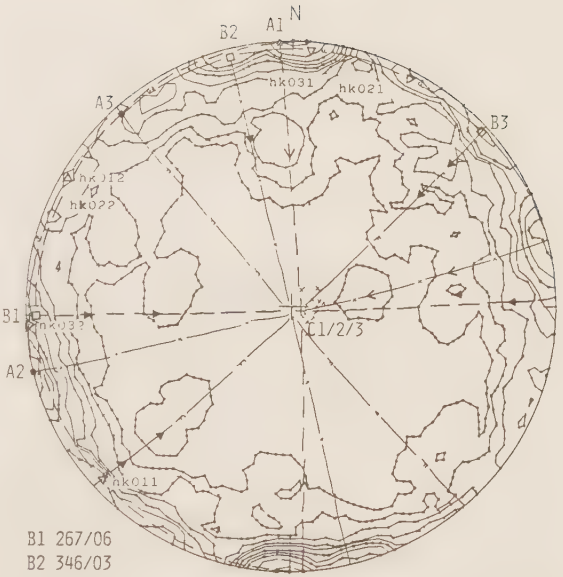


B1 252/04
B2 -
B3 158/02

SS 300/10

RSA 28 LIME ACRES DOLOMITE 240/16

B1	B2	B3
hk0 3.1:1.1% 80°nA	-	hk0 27.5:9.1% 80°nA
0kl 7.1:5.1% 20°nC		0kl -
h0l .5:0% 50°nA		h0l -
1.1:1.1% 90°		ac 3.1%
ac hk031		bc 1.1% 40.3%
bc 5.1% 24.2%		

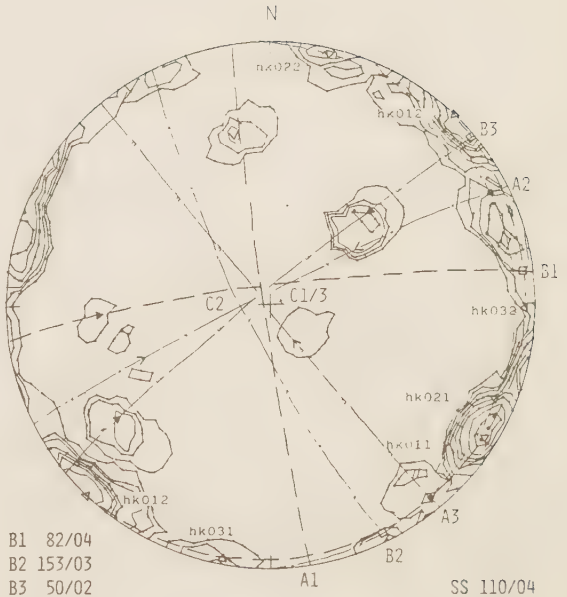


B1 267/06
B2 346/03
B3 48/03

SS 270/05

RSA 41 KURUMAN I BIF (A) 383/14

B1		B2		B3	
hk0	5.1:2.1% 76°nA	hk0	5.1:2.1% 84°nA	hk0	16.5:9.1% 82°nA
0kl	1.1:.5% 40°nC	0kl	1.1:.5% 70°nC	0kl	1.1:1.1% 40°nC
	.5:.1% 80°nC		.5:.1% 70°nC	h0l	-
h0L	1.1:.5% 90°	h0L	-	ac	7.1%
ac	3.1%	ac	9.1%	bc	2.1% 37.0%
bc	hk031 14.1%	bc	hk032 8.9%		



B1 82/04
B2 153/03
B3 50/02

SS 110/04

RSA 73 KURUMAN IV DOLOMITE 108/03

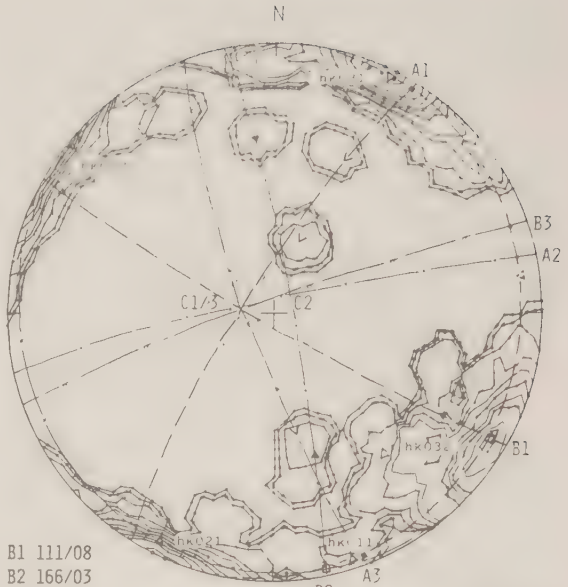
B1		B2		B3	
hk0	18.8:12.1% 74°nA	hk0	9.1:3.1% 80°nA	hk0	3.1:2.1% 80°nA
0kl	1.1:1.1% 80°nC	0kl	-	0kl	5.1:3.1% 76°nC
h0l	3.1:0% 80°nA	h0l	3.1:1.1% 74°nA	h0l	1.1:0% 40°nA
ac	3.1%	ac	2.1%	ac	12.1%
bc	- 39.6%	bc	2.1% 20.6%	bc	0.1% 28.7%

B1 108/10
B2
B3

SS 83/16

RSA 36 ROOINEKKE I BIF (K) 337/14

B1		B2		B3	
hk0 18.5:9.1% 76°nA		hk0 hk011:5.1% 84°nA		hk0 3.1:1.1% 84°nA	
0kl .5:.1% 60°nC		0kl 1.1:.5% 48°nC		0kl 2.1:.5% 56°nC	
h0l -		h0l -		h0l -	
ac 2.1%		ac 5.1%		ac 5.1%	
bc hk031	30.3%	bc hk012	11.8%	bc hk011	11.9%

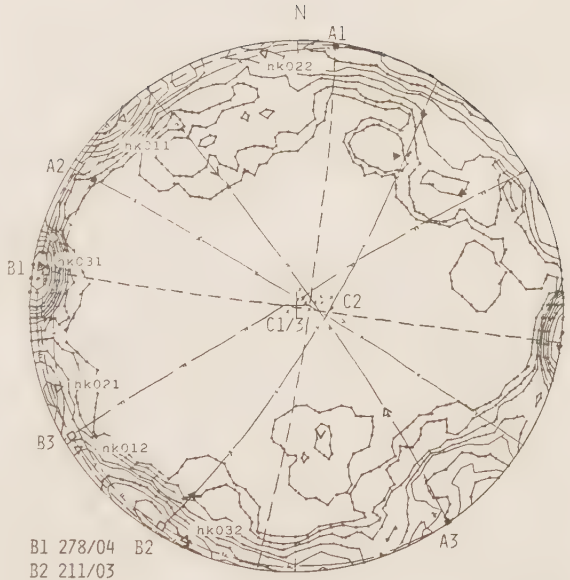


B1 111/08
B2 166/03
B3 70/08

SS 95/10

RSA 37 ROOINEKKE II MN ORE 145/16

B1		B2		B3	
hk0 1.1:0% 80°nA		hk0 7.1:5.1% 80°nA		hk0 23.9:15.1% 90°	
0kl 3.1:1.1% 40°nC		0kl 1.1:.5% 80°nC		0kl -	
h0l 1.1:0% 52°nA		h0l -		h0l -	
ac hk032		ac 1.1%		ac -	
bc hk031	6.4%	bc -	14.9%	bc hk011	39.0%

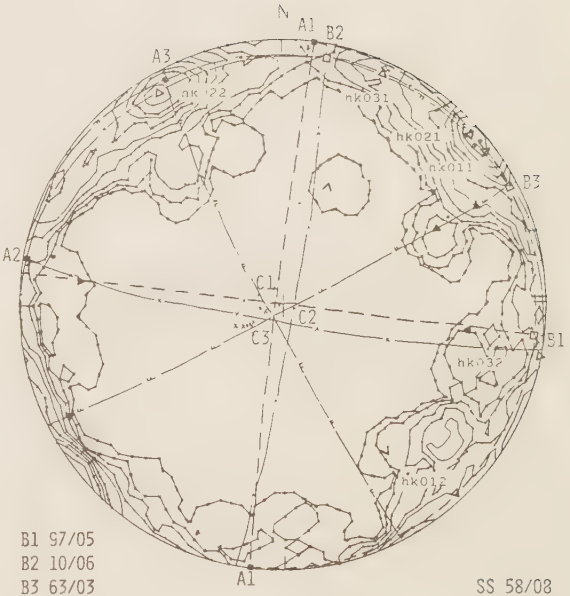


B1 278/04 B2
B2 211/03
B3 240/03

SS 255/05

RSA 31 CAIRNTOP SI BIF (K) 287/12

B1		B2		B3	
hk0 9.1:3.1% 80°nA		hk0 3.1:3.1% 80°nA		hk0 16.1:9.1% 76°nA	
0k1 -		0k1 1.1:.5% 50°nC		0k1 1.1:0% 60°nC	
h01 .5:0% 70°nA		h01 -		h01 -	
ac hk031		ac 9.1%		ac 2.1%	
bc 5.1%	17.8%	bc -	16.9%	bc hk031	28.4%

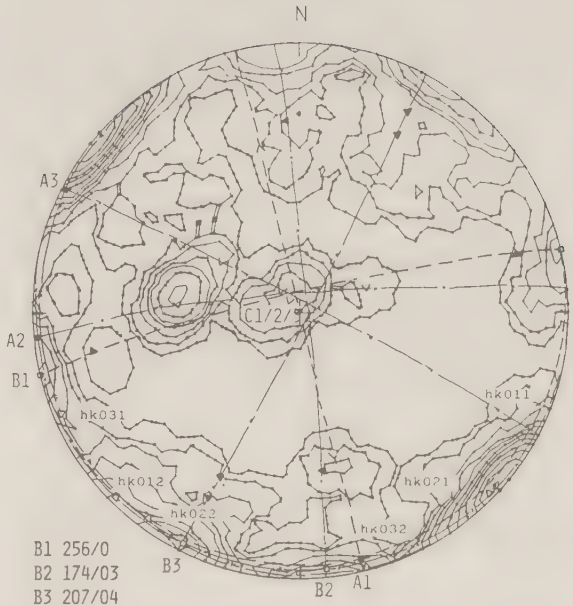


B1 97/05
B2 10/06
B3 63/03

SS 58/08

RSA 32 CAIRNTOP SII BIF (K) 200/13

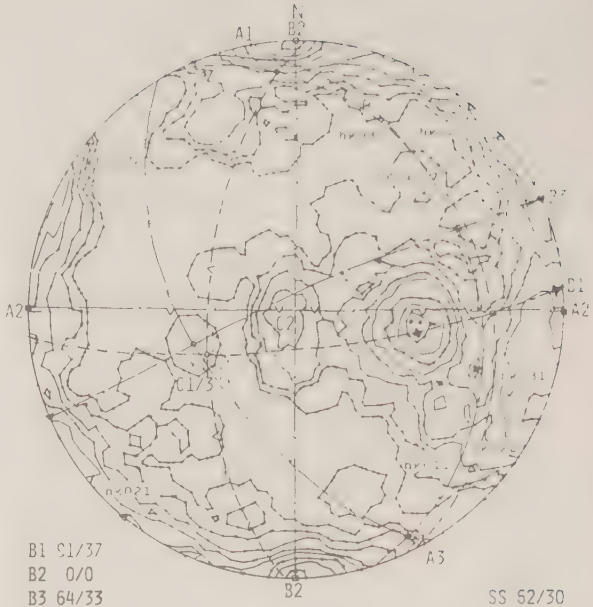
B1		B2		B3	
hk0 17.7:5.1% 84°nA		hk0 hk011:12.1% 76°		hk0 3.1:2.1% 80°nA	
0k1 .5:.1% 56°nC		0k1 -		0k1 3.1:1.1% 30°nC	
h01 -		h01 -		1.1:0% 60°nC	
ac 2.1%		ac 1.1%		h01 1.1:.5% 100°nA	
bc ac2	25.5%	bc hk032	13.2%	ac 7.1%	
				bc hk022	10.0%



B1 256/0
B2 174/03
B3 207/04

RSA 06 WITWATERSYNKL ONGELUK 351/--

B1		B2		B3	
hk0 21.1:5.1% 80°nA		hk0 hk011:7.1% 80°nA		hk0 3.1:2.1% 84°nA	
0kl -		0kl 1.1:.5% 60°nC		0kl 1.1:.5% 50°nC	
h0l -		h0l 2.1:.5% 25°nA		h0l -	
ac 3.1%		7.1:0% 80°nA		ac 9.1%	
bc ac2	29.3%	ac 3.1%		bc hk011	15.9%
		bc ac1	21.5%		

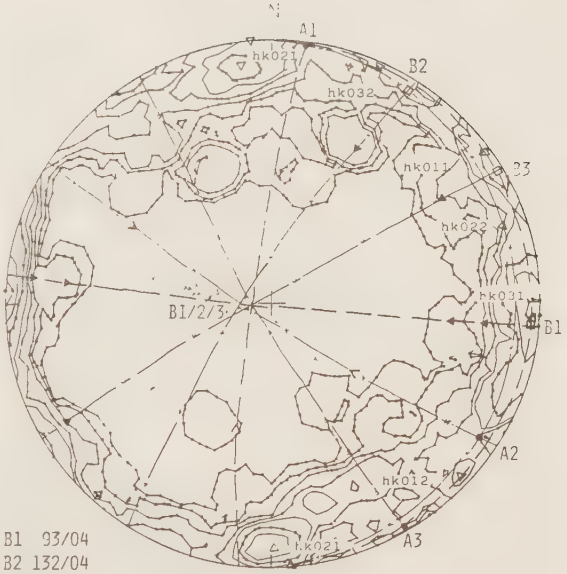


B1 C1/37
B2 0/0
B3 64/33

SS 62/30

RSA 34 CAIRNTOP WI BIF (K) 338/19

B1	B2	B3

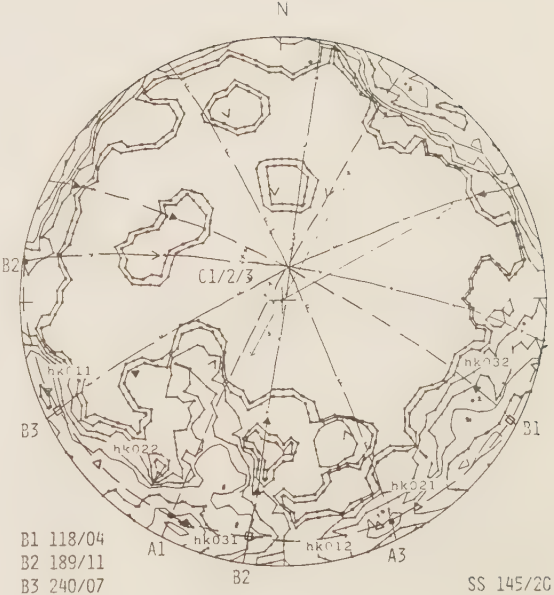


B1 93/04
B2 132/04
B3 60/04

SS 98/10

RSA 15 WESTERBERG I QZ 253/17

B1		B2		B3	
hk0 5.1:3.1% 80°nA		hk0 5.1:3.1% 80°nA		hk0 11.4:3.1% 90°	
0k1 1.1:1.1% 40°nC		0k1 1.1:0% 60°nC		0k1 1.1:1.1% 40°nC	
h01 .5:.1% 80°nA		h01 .5:.5% 80°nA		h01 2.1:.5% 75°nA	
ac hk031		ac 3.1%		ac 5.1%	
bc hk021	11.0%	bc hk012	13.4%	bc 1.1%	25.5%



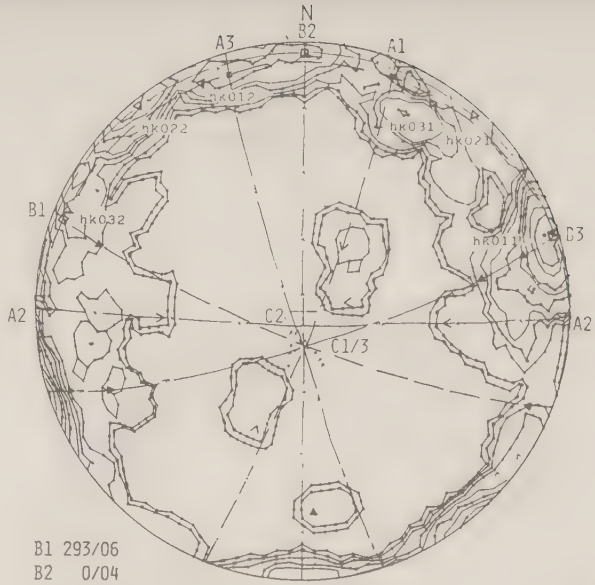
B1 118/04
B2 189/11
B3 240/07

SS 145/20

RSA 18 WESTERBERG II BIF (A) 168/15

B1		B2		B3	
hk0 5.1:3.1% 80°nA		hk0 3.1:3.1% 80°nA		hk0 10.2:5.1% 80°nA	
0k1 -		0k1 2.1:.5% 40°nC		0k1 -	
h01 1.1:.5% 46°nA		h01 .5:0% 80°nA		h01 1.1:.5% 100°nA	
ac 7.1%		ac 3.1%		ac 3.1%	
bc hk031	16.9%	bc 1.1%	13.5%	bc hk011	21.0%

HF 1: hk011/21
2: hk032
3: 0k12

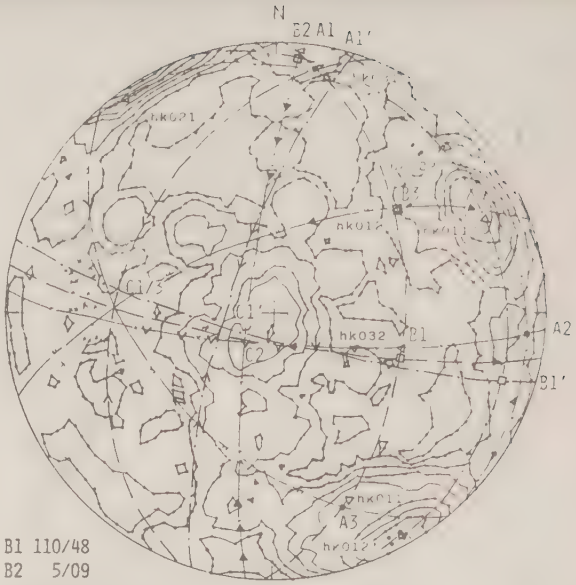


B1 293/06
B2 0/04
B3 73/05

SS 5/12

RSA 24 KOEGAS V BIF (K) 172/22

B1		B2		B3	
hk0 ac3:5.1% 84°nA		hk0 9.1:3.1% 76°nA		hk0 3.1:2.1% 80°nA	
0kl -		0kl -		0kl 7.1:3.1% 30°nC	
h0l 1.1:.5% 60°nA		h0l .5:.5% 90°		1.1:1.1% 60°nC	
ac 2.1%		ac 5.1%		h0l -	
bc hk031	8.8%	bc 3.1%	21.4%	ac 19.1%	
				bc hk012	36.7%



B1 110/48
B2 5/09
B3 49/40
B1'107/13

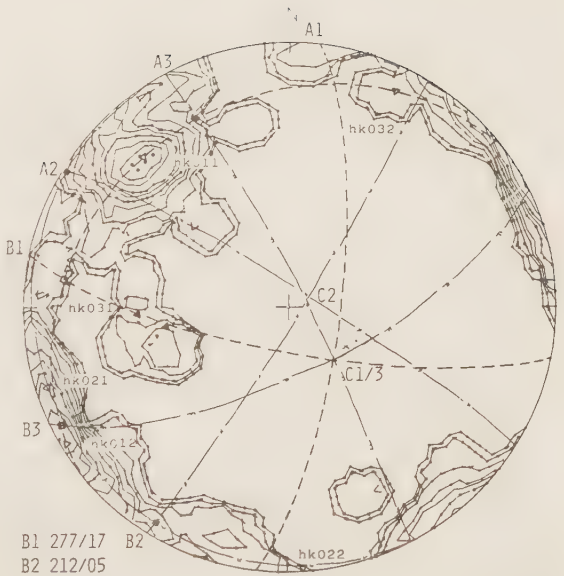
SS 100/60

RSA 116 KOEGAS I/II BIF (K) 547/12

B1		B2		B3	
hk0 3.1:1.1% 84°nA		hk0 3.1:2.1% 80°nA		hk0 1.1:1.1% 80°nA	
0kl 3.1:1.1% 60°nC		0kl 2.1:.5% 50°nC		0kl 7.1:1.1% 50°nC	
h0l -		h0l 3.1:2.1% 20°nA		h0l -	
ac .5%		5.1:1.1% 40°nA		ac 1.1%	
bc hk031	8.9%	ac 1.1%		bc hk011	11.5%
		bc .5%	20.8%		

B1'

hk0 12.4: 7.1% 82°nA
0kl -
h0l 1.1:1.1% 60°nA
ac 1.1%
bc hk031 22.8%

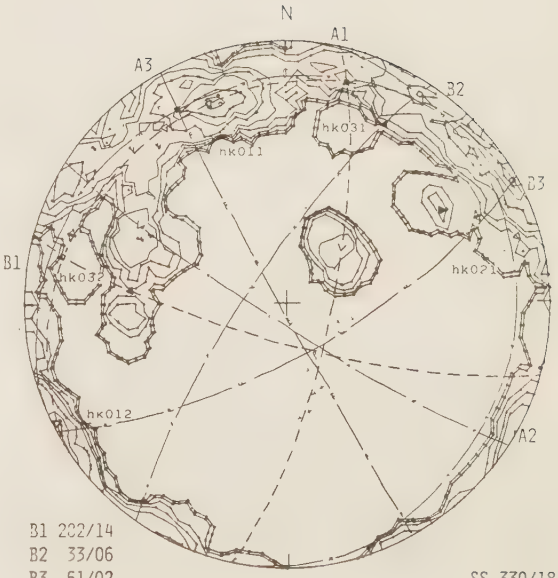


B1 277/17 B2
B2 212/05
B3 242/04

SS 297/23

RSA 38 WATERFORD QZ 145/21

B1	B2	B3
hk0 20.1:15.1% 77°nA	hk0 9.1:2.1% 80°nA	hk0 1.1:1.1% 70°nA
0kl 2.1:0% 64°nC	0kl -	0kl -
h0l -	h0l .5:0% 80°nA	h0l -
ac 1.1%	ac 2.1%	ac 15.1%
bc - 38.4%	bc 1.1% 14.4%	bc 1.1% 18.4%

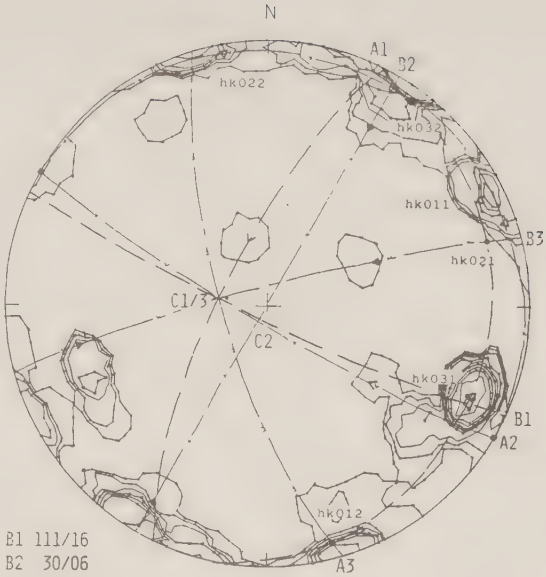


B1 202/14
B2 33/06
B3 61/02

SS 330/18

RSA 33 WALDECKSLOURE QZ 089/14

B1	B2	B3
hk0 13:9.1% 90°	hk0 1.1:0% 80°nA	hk0 2.1:1.1% 78°nA
0kl 2.1:0% 50°nC	0kl 2.1:1.1% 34°nC	0kl 2.1:0% 60°nC
h0l 3.1:0% 60°nA	h0l 3.1:0% 80°nA	h0l -
ac 2.1%	ac 5.1%	ac 9.1%
bc 2.1% 31.5%	bc - 12.5%	bc hk011 14.4%



B1 111/16
B2 30/06
B3 74/13

SS 98/08

RSA 78 WITSAND QZ 065/03

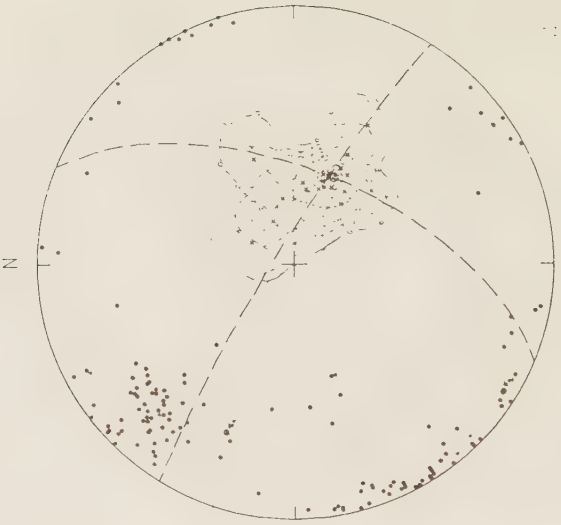
B1	B2	B3
hk0 9.1:9.1% 90°	hk0 5.1:5.1% 80°nA	hk0 20.4:9.1% 80°nA
0kl -	0kl 2.1:2.1% 30°nC	0kl 5.1:1.1% 70°nC
h0l 1.1:0% 40°nA	h0l 1.1:0% 80°nA	h0l -
ac hk031	ac 5.1%	ac 1.1%
bc hk032 19.3%	bc 2.1% 22.7%	bc hk0 32 36.8%

B1 268/05
B2 190/07

SS 272/45

RSA 76 LOUIS RUS II QZ 135/06

B1	B2	B3
hk0 3.1:1.1% 70°nA	hk0 9.1:0% 80°nA	
0kl 3.1:2.1% 40°nC	0kl 1.1:1.1% 60°nC	
h0l 1.1% 0°nA	h0l -	
3.1:1.1% 40°nA	ac -	
ac 7.1%	bc hk031 11.3%	
bc 2.1% 23.9%		



Anhang III 6/3:
Koranna- und Langeberge

ANHANG IV:

Grundlagen

1. Grundlagen der Fernerkundung
2. Kleintektonische Aufnahme

Grundlagen

In diesem Kapitel soll kurz auf die Methoden zur Interpretation von Luft- und Satellitenbildern sowie der kleintektonischen Diagramme eingegangen werden.

1. Grundlagen der Fernerkundung

1.1. Einleitung

Neben der Möglichkeit der geologischen Kartierung durch die konventionelle photogeologische Interpretation bieten die Landsat-MSS-Aufnahmen auch Informationen über das Spektralverhalten verschiedener Oberflächen (Wasser, anstehendes Gestein, Böden, Vegetation u.a.).
Die Anwendungen der Landsat-MSS-Aufnahmen sind jenen der konventionellen Luftbildauswertung sehr ähnlich. Wesentliche Vorteile liegen jedoch in der Synopsis, den gleichmäßigen Beleuchtungsverhältnissen über große Bereiche, der wiederholten Aufnahme gleicher Gebiete (multitemporale Aufnahmen) und der multispektralen Natur der Daten (BODECHTEL 1978, HAYDN et al. 1982, KAUFMANN & JASKOLLA 1983, VILJOEN & VILJOEN 1975). Letztere Eigenschaft ermöglicht damit neben der gebräuchlichen photogeologischen Interpretation eine Differenzierung von Oberflächen aufgrund ihres Spektralverhaltens.
Nachfolgend werden kurz die Kriterien zur photogeologischen Kartierung erläutert und anschließend die Grundlagen der multispektralen Auswertung zusammengefaßt.

1.2. Erläuterung der photogeologischen Kartierkriterien

Die Theorie der photogeologischen Interpretationsmethoden ist in der Literatur in ausführlicher Weise dargestellt (ABRAMS & SIEGAL 1980, BAILEY et al. 1982, BODECHTEL 1964, 1969, 1978, BODECHTEL & NITHACK 1974, FRANCICA 1982, GIERLOFF-EMDEN & SCHRÖDER-LANZ 1970, JASKOLLA 1978, KRONBERG 1967 & 1984, LATTMAN & RAY 1965, LIST 1968, LIST et al. 1974, MÜHLFELD 1964, SABINS 1978, SCHNEIDER 1974, VILJOEN et al. 1975, WEEDEN & BOLLING 1980).
Beim Studium der Literatur wird jedoch deutlich, daß verschiedene Begriffe unterschiedlich definiert sind, daß die Kriterien des photogeologischen Schlüssels wie Textur, Struktur und Muster mit unterschiedlichen Sinngehalten (Geländeform, Gewässernetz usw.) vermischt werden. In der anglo-amerikanischen Literatur werden weiter allgemeine Begriffe wie "features, pattern" für unterschiedlichste Phänomene in der Beschreibung von Kartierkriterien und Bildinhalten verwendet.
Eine deutliche Unterscheidung von Bildinhalten und allgemeinen Kriterien trifft FRANCICA (1982). Danach werden die wichtigsten Bildthemen der photogeologischen Kartierung wie Gewässernetz,

Landform, Lineamente und Bedeckung durch Ton, Textur und Muster bestimmt. Diese sind ihrerseits Ausdruck des Reflexionsverhaltens verschiedener Oberflächen und ihrer räumlichen Beziehung zueinander. Eine modifizierte Unterteilung der Differenzierungskriterien des photogeologischen Schlüssels findet für die photogeologische Kartierung (Kap. 3.1.) Anwendung.

1.2.1. Als allgemeine oder fundamentale Kriterien gelten (Grau-)Ton bzw. Farbe, Textur und Muster.
Der Ton umfaßt alle bestimmbaren Grauschattierungen von weiß bis schwarz (SABINS 1978) und ist auf die relative Helligkeit bzw. Farbe eines Objekts zurückzuführen (LILLESAND & KIEFER 1979). Der Grauton ist Hauptkartierkriterium im s/w-Spektralauszug bzw. im Ratiobild.
Die Farbe ist das wichtigste Kartiermerkmal im Farb- und Falschfarbenbild (CIR Composit) bzw. im Farbratiobild (CRC).
Die Textur ist nach SABINS (1978) und LILLESAND & KIEFER (1979) die Frequenz der Änderung von Grauton und Farbe in einem Bild. Sie drückt sich u.a. in der räumlichen Beziehung des Gewässernetzes und dessen Strukturelementen aus (GILLESPIE 1980).
Das Muster bezieht sich auf die räumliche Anordnung von Objekten (LILLESAND & KIEFER 1979) und wird durch wiederkehrende Grautonwechsel angezeigt. Häufig ist eine direkte Zuordnung des Musters zu geomorphologischen und geologischen Strukturen, zum Gewässernetz und anderen Phänomenen möglich.

1.2.2. Die fundamentalen Unterscheidungsmerkmale sind die Grundlage zur Erfassung der Bildinhalte oder der phänomenologischen Kriterien.
Darunter sind Geomorphologie (Topographie, Geländeform, Größe, Relief, Lagebeziehungen), Gewässernetz, unterschiedliche Gesteine und Böden, geologische Strukturen (Lagerung der Gesteine, Klüftung, Störungen, Lineamente) und Vegetationsbedeckung verschiedener photogeologischer Einheiten zusammengefaßt.
Diese durch manuelle und visuelle Analyse erfaßten Muster sind die Basis der verschiedenen thematischen Karten:
- Lithologische Karte
- Großstrukturkarte
- Lineamentkarte
- Gewässernetzkarte

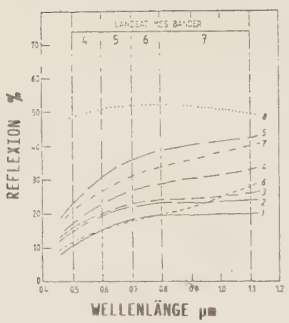
Bestimmte phänomenologische Kriterien beeinflussen dabei die Kartierung anderer Bildinhalte. So besitzen z.B. bestimmte Gesteinseinheiten ein für sie typisches Gewässernetz. Die Ansprache des Gewässernetzes erleichtert somit die Identifizierung lithologischer Einheiten (ABRAMS & SIEGAL 1980). Die Gewässernetzkartierung unterstützt naturgemäß auch die tektonische Kartierung, die Vegetation dagegen kann ihrerseits wieder Aufschlüsse über das Gewässernetz geben.
Im Folgenden soll noch der Begriff des Lineaments erläutert werden, der allgemein immer noch Konfusion hervorruft. Nach JAS-

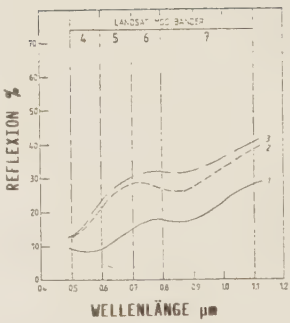
KOLLA (1978) hat sich bei seiner Untersuchung an Satellitenbildlineamenten die Definition von O'LEARY, FRIEDMAN & POHN (1976) hervorragend bewährt. Danach ist ein Lineament ein "kartierbares, einfaches oder zusammengesetztes, gradliniges (linear) Charakteristikum (feature) einer Oberfläche, dessen Teile gerade oder in leicht kurviger Beziehung angeordnet sind, und welches sich deutlich von den Mustern angrenzender Merkmale unterscheidet und vermutlich ein unter der Oberfläche liegendes Phänomen widerspiegelt".
Dargestellt wird es durch tonale oder geomorphologische Unterschiede (SABINS 1978). Die häufigsten Tonunterschiede werden durch Vegetation, Bodenfeuchte, Böden und Gesteinszusammensetzung bewirkt. Geomorphologische Variationen kommen durch Abbruchkanten, lineare Anordnung von Flußtälern und Geländeformen zustande. Lineamente stehen gewöhnlich in Beziehung zu tektonischen Unstetigkeitsflächen wie Störungen, Scherzonen und Klüften (HOBBS 1912 zit. in O'LEARY et al. 1976) und unterscheiden sich damit deutlich von Lineationen (die beiden Begriffe Lineament und Lineation werden häufig synonym gebraucht), die einen gefügekundlichen Begriff darstellen (O'LEARY et al. 1976).
Eine Unterscheidung der Lineamente nach ihrer Länge, wie sie LATTMAN (1958) und LIST (1968) treffen, erscheint nicht notwendig, da sie sich zwangsläufig aus dem Maßstab der Auswertevorlage ergibt. Im großmaßstäblichen Luftbild werden i.d.R. wesentlich kleinere Phänomene (bis zur Kluft) erfaßt als im kleinmaßstäblichen Satellitenbild.

1.3. Die spektralen Eigenschaften der Landsat-MSS-Kanäle

Die Auswahl der Landsat 1 und 2 MSS Kanäle (MSS 4: 0,5 - 0,6 µm, MSS 5: 0,6 - 0,7 µm, MSS 6: 0,7 - 0,8 µm, MSS 7: 0,8 - 1,1 µm) verhindert weitgehend eine absolute Identifizierung von Gesteinen mit Hilfe der Spektralunterschiede (ROWAN et al. 1977). Sie läßt - mit Ausnahmen - nur eine relative Differenzierung zu.
Der Vergleich einiger typischer Gesteinsarten (Abb. 1a), die auch im Arbeitsgebiet anstehen, zeigt, daß die Hauptunterschiede der spektralen Eigenschaften in der Intensität der reflektierten Energie liegen (HAYDN 1982). Der Verlauf der Spektralkurven unterscheidet sich nur unwesentlich voneinander. Nur wenige Gesteinstypen lassen so große Reflexionsdifferenzen erkennen, daß sie im visuellen Vergleich der Landsatbilder unterschieden werden können. Kalksteine z.B. reflektieren je nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung verschieden stark. Wie die Zusammenstellung in Abbildung 1a deutlich macht, besitzt die Spektralkurve von Andesit (Abb. 1a, Kurve 2 nach GOETZ 1976; zit. in SABINS 1978) nahezu gleiche Intensität wie jene von Kalkstein (Abb. 1a Kurve 3 nach ROWAN et al. 1977). Dagegen weist Kalkstein anderer Zusammensetzung in Abb. 1a, Kurve 5 nach GOETZ 1976) ein ähnliches Reflexionsverhalten wie trockener grauer Boden (Abb. 1a, Kurve 7 nach SWAIN & DAVIS 1978; zit. in LILLESAND & KIEFER 1979) auf.
Der absolute Nachweis von Eisenoxiden und Vegetation ist indessen

möglich (KAHLE 1982). Wegen der weiten Verbreitung magnetitischer und hämatitischer Gesteine (Banded Iron Formation) und derer Erosionsprodukte im Arbeitsgebiet ist dieser Nachweis von besonderer Bedeutung. In Abb. 1b sind Labor- und Feldspektren von Hämatit und hämatitischen Gesteinen, in Abb. 1c charakteristische Reflexionsspektren von Vegetation dargestellt.
Eine Analyse dieser Reflexionsspektren (Abb. 1b) zeigt die für Eisenoxide typischen Absorptionsbänder bei 0,4 - 0,6 µm (KAHLE 1982) und 0,85 - 0,95 µm (ROWAN et al. 1977). Diese sind auf elektronische Prozesse in den Eisenionen wie Ladungsübertragung und Elektronenübergang zwischen Fe^{2+} und Fe^{3+} zurückzuführen (HUNT 1977, KAHLE 1982, ROWAN 1975).
Bedingt durch die Bandbreite des Landsat MSS Kanals 7 von 0,8 - 1,1 µm ist das Eisenabsorptionsband in dieser Region jedoch breit und unscharf und z.T. nicht sehr gut entwickelt (ROWAN 1975) (vgl. Abb. 1b, Kurve 3).
Die Spektralkurven für Vegetation (Abb. 1c) weisen ebenfalls ein deutliches Minimum bei 0,6 - 0,7 µm im Landsat-MSS-Kanal 5 (rot) auf, das auf Chlorophyllabsorption zurückzuführen ist (ALLAN et al. 1968, LILLESAND & KIEFER 1979). Durch die starke Reflexion im Grünbereich (MSS-Kanal 4: 0,5 - 0,6 µm) und die hohe Absorption im Blau- (0,4 - 0,5 µm) und Rotbereich (0,6 - 0,7 µm) erscheint gesunde Vegetation grün. Typisch sind außerdem der steile Anstieg der Spektralkurven bei 0,7 µm und die hohen Reflexionswerte >0,8 µm (bis zu 60 %), welche auf der starken Rückstrahlung von gesunder Vegetation im nahen Infrarotbereich beruhen. In diesem Wellenlängenbereich (0,7 - 1,1 µm) ist die Reflexion hauptsächlich durch innere Blattstrukturen und Wassergehalt bedingt (LILLESAND & KIEFER 1979).
Die Aufgabe der Verdeutlichung der Eisen- bzw. Chlorophyllabsorptionsbänder (KAHLE 1982), sowie der Reflexionsunterschiede von Gesteinen mit ähnlicher Albedo (ROWAN et al. 1977), erfüllt die Ratiotechnik.
Zur Bestimmung Eisenoxid-reicher Gesteine und Böden haben sich einfache Ratiobildungen, vor allem Ratio MSS 4/MSS 5, hervorragend bewährt (VINCENT 1973). Rote hämatitische Gesteine werden durch ein niedriges MSS 4/MSS 5-Verhältnis (MSS 4: geringe Reflexion durch Absorption; MSS 5: hohe Reflexion, da rot durch diesen Spektralkanal repräsentiert wird) ausgezeichnet dargestellt.
Niedere MSS 4/MSS 5, MSS 4/MSS 6 und MSS 4/MSS 7 Ratios stehen alle in Beziehung zum steilen Reflexionsabfall im Hämatitspektrum von 0,8 µm zum ultravioletten Wellenlängenbereich hin (ROWAN et al. 1977). Außerdem spiegeln die MSS 4/MSS 6 und MSS 4/MSS 7 Ratios die relativ starke IR-Reflexion der Eisenoxide wider. Hohes MSS 6/MSS 7 Ratio bildet das typische Absorptionsband bei 0,85 µm ab (SEGAL 1982).
Für die Vegetationskartierung ist Ratio MSS 5/MSS 6 bzw. MSS 5/MSS 7, bedingt durch die Absorption in MSS 5 bei 0,68 µm und die starke Reflexion in MSS 6 und 7 sensitiv (RAINES & CANNEY 1980). Die Zunahme der Strahlung in MSS 6 und 7 und die Abnahme der Reflexion in MSS 5 bei Ansteigen der Vegetationsdichte führt zu einer umgekehrten Proportionalität der Ratios. Je dichter die Vegetation, umso niedriger wird der Ratiowert.





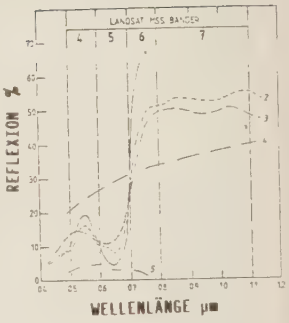


Abb. 1a: Abb. 1b: Abb. 1c

Abb. 1a: Reflexionsspektren von im Arbeitsgebiet bevorzugt auftretenden Sedimenten und Ergußgesteinen.

1 Andesit nach ROWAN & LATHRAM (1980);
2 Andesit nach GOETZ (1976) zit. in SABINS (1978);
3 Kalkstein nach ROWAN, GOETZ & ASHLEY (1977);
4 Kalkstein nach ABRAMS & SIEGAL (1980);
5 Kalkstein nach GOETZ (1976) zit. in SABINS (1978);
6 Tonschiefer nach GOETZ (1976) zit. in SABINS (1978);
7 Unbedeckter, trockener Boden nach SWAIN & DAVIS (1978) zit. in LILLESAND & KIEFER (1979);
8 Playa deposits nach ROWAN, GOETZ & ASHLEY (1977).

Abb. 1b: Reflexionsspektren von Hämatit und hämatitischen Gesteinen.

1 Hämatit nach HUNT, SALISBURY & LENHOFF (1971) zit. in SABINS (1978);
2 Hämatitisches, silifiziertes Gestein nach ROWAN, GOETZ & ASHLEY (1977);
3 Rote Tonschiefer nach ROWAN, GOETZ & ASHLEY (1977).

Abb. 1c: Reflexionsspektren verschiedener Vegetationsmessungen im Vergleich zu unbedecktem Boden und Wasser.

1 Gras nach SABINS (1978);
2 Blatt nach RAINES & CANNEY (1980);
3 Vegetation (grün) nach SWAIN & DAVIS (1978) zit. in LILLESAND & KIEFER (1979);
4 Unbedeckter trockener Boden und
5 Wasser nach SWAIN & DAVIS (1978) zit. in LILLESAND & KIEFER (1979).

1.4. Bildverarbeitung und Bildverbesserung

Die Landsat 1 und 2 Daten, die zur Auswertung zur Verfügung standen, wurden verschiedenen Bildverarbeitungsprozessen zur Bildverbesserung unterzogen. Die für die manuelle und visuelle Auswertung wichtigsten Methoden sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

1.4.1. Kontrastverstärkung

Die originalen Landsatdaten verfügen häufig über eine geringe Grautondynamik. Nur ein kleiner Teil der möglichen Helligkeitsstufen (schwarz bis weiß) sind in einer durchschnittlichen Landsatszene repräsentiert (SABINS 1978). Die Folge ist ein kontrastarmes Bild.
Durch Streckung (linear oder nichtlinear) der vorhandenen Grauwerte auf den vollen verfügbaren Dynamikbereich des Landsatsystems, das auf große Kontraste ausgelegt ist (z.B. Basalt bis Eis), von 0 (schwarz) bis 255 (weiß) wird der Szenenkontrast erhöht. Vor allem Texturmerkmale und Strukturen werden dadurch verstärkt und besser kartierbar.

1.4.2. High Pass Filterung

Die High Pass Filtertechnik ist eine Methode zur Verstärkung hoher Bildfrequenzen, die sich in schnellen Wechseln der Reflexionswerte ausdrücken (MORGAN & MORRIS-JONES 1982) und die häufig kleine, unter der Auflösung liegende Phänomene darstellen (LILLESAND & KIEFER 1979). Durch Verdoppelung der Abweichung des Helligkeitswertes eines Bildpunktes vom Durchschnittswert der umgebenden Bildpunkte werden jene, die heller als ihre Umgebung sind noch heller, relativ dunkle dagegen dunkler gemacht. Dies führt wegen der Verstärkung der Helligkeitswerte an den Tongrenzen und wegen des Eindrucks erhöhter Schärfe und höherer räumlicher Auflösung zur besseren Grenzziehung und Ansprache von linearen Phänomenen.

1.4.3. Farbmischung

Das menschliche Auge vermag verschiedene Graustufen nur schlecht zu trennen (SABINS 1978). Farben und Farbtöne dagegen bilden Helligkeitsunterschiede und spektrale Signaturen wesentlich deutlicher ab und sind leichter zu differenzieren.

Aus diesem Grunde werden die verschiedenen schwarz/weiß-Spektralkanäle durch unterschiedliche optische Filterung (MSS 4 blau, MSS 5 grün und MSS 7 rot) in Falschfarbendarstellung umgesetzt.

1.4.4. Ratiobildung

Ratioverarbeitung ist eine weitere Bildverbesserungstechnik für die geologische Anwendung.
Da die spektrale Identifizierung lithologischer Unterschiede auch im Falschfarbenbild schwierig ist, empfiehlt sich die Ratiotechnik zur Bildverbesserung (Anh.4, Kap. 1.3.). Hierbei wird die Helligkeit eines Bildpunktes in einem MSS-Kanal durch die korrespondierende Bildpunktintensität eines anderen MSS-Kanals dividiert. Die resultierenden Tonwerte bringen nicht ein Maß für die reflektierte Energie zum Ausdruck, sondern die Relation zwischen den verwendeten Spektralkanälen. Die Quotienten werden kontrastverstärkt und wiederum als Schwarz/Weiß-Bild dargestellt.
Die Reflexionsunterschiede von Gesteinen, Böden und anderen Oberflächenformen werden so sichtbar gemacht und verstärkt und damit besser analysierbar.
Unterdrückt werden dagegen die durch die Topographie verursachten Helligkeitsunterschiede (SABINS 1978), z.B. durch Schattenbildung. Jedoch werden auch texturelle Details, verursacht durch das Zusammenspiel von Topographie, Beleuchtung und Rückstrahlvermögen einer Oberflächen abgeschwächt (HAYDN et al. 1982).
Geläufige Ratiobildungen sind die benachbarter MSS-Kanäle (z.B. MSS 4/MSS 5, MSS 5/MSS 6 usw.), reziproker Quotienten und Doppelratios. Diese bieten gleichzeitig die meisten Informationen (ABRAMS & SIEGAL 1980).
Eine Falschfarbendarstellung der Ratiobildungen ist ebenfalls möglich. Das Color-Ratio-Composit (CRC) übertreibt die Unterschiede zwischen den Einzelkanälen und reduziert ebenfalls Effekte unterschiedlicher Beleuchtung und Topographie (ROWAN 1975, BLOM et al. 1981).
Die Auswertung der Ratiodarstellungen bezüglich ihrer unterschiedlichen Aussagen über das Reflexionsverhalten von Oberflächen erfolgt nach SABINS (1978) nach folgenden Kriterien:
Die hellen und dunklen Töne im Ratiobild entsprechen den Unterschieden der spektralen Reflexion in den beiden verwendeten MSS-Kanälen (s. oben). Ist die Reflexion des MSS-Kanals im Zähler größer als die des MSS-Kanals im Nenner, wird dies durch helle Grauwerte abgebildet (hohes Ratio); umgekehrt gilt, daß dunkle Grautöne die höhere Reflexion des im Nenner stehenden MSS-Kanals anzeigen (niederes Ratio).

niederes Ratio (< 1): dunkle bis schwarze Töne (MSS X </« MSS Y)

mittleres Ratio (= 1): intermediäre Töne (MSS X ≈ MSS Y)

hohes Ratio (> 1): helle bis weiße Töne (MSS X >/» MSS Y)

Detailliertere Darstellungen der verschiedenen Bildverarbeitungstechniken und -möglichkeiten finden sich in den diversen Standardwerken und Einzelveröffentlichungen der Fernerkundung, von denen hier eine Auswahl zitiert wurde.

2. Kleintektonische Aufnahme

Die Grundlagen der kleintektonischen Analyse sind in Arbeiten, die am Geologischen Institut der Universität München entstanden sind, mehrfach beschrieben worden (BODECHTEL et al. 1984, JASKOLLA 1978, SMOLKA 1977 und diverse unveröffentlichte Diplomarbeiten). Es sollen daher nur die wichtigsten Arbeiten der Gefügeinterpretation zitiert und die wesentlichen Aspekte für die vorliegende Arbeit aufgezeigt werden.

2.1. Theoretische Grundlagen

BUCHER (1920) stellte bereits Überlegungen über die mechanische Interpretation von Klüften und deren Symmetriebeziehungen an. Er postulierte, daß in allen harten Materialien unter Spannung und Druck Scherdeformation entsteht, wobei die maximale Streßachse den spitzen Winkel der Scherflächen halbiert. Jedoch können unter anderen Bedingungen, vor allem in weichen Materialien, auch Brüche senkrecht zur maximalen Streßachse auftreten.
Was BUCHER im Gelände beobachtet und zu erklären versucht hat, wird später durch Versuche systematisch untersucht. CLOOS (1963) und SANDER (1930, 1948) formulierten die Zusammenhänge, auf denen die moderne Gefügekunde basiert. Danach führt eine genaue Strukturanalyse zur Erkenntnis, daß die Geometrie und Symmetrie der internen Gesteinsstrukturen die Geometrie und Symmetrie der Bewegung und Beanspruchung, die für die Deformationen verantwortlich sind, widerspiegeln. Das funktionale Gefüge (wirkendes Kräftesystem) wird durch das gestaltliche Gefüge (beobachtbares Kluftgefüge) abgebildet (SANDER 1948) und gibt so Aufschluß über die physikalischen Bedingungen der Entstehung des Gefüges. Erkannte Symmetriebeziehungen und daraus ableitbare Spannungsverteilungen geben Anhaltspunkte für eine Deutung der Deformation. Daraus ist zu schließen, daß sich jeder Teilakt einer tektonischen Bewegung im Gefüge ausdrückt, so daß in Gefügedarstellungen aus der Überlagerung mehrphasiger Bewegungen einzelne Bewegungsabläufe rekonstruierbar sind (ADLER 1969).

2.2. Beschreibung "genetischer" Gefügesysteme

Die Erkenntnisse SANDERs finden in den Arbeiten ADLERs (zuletzt 1982) und seiner Mitarbeiter (HEMMERICH 1979, KRAUSE 1981), BOCKs (1976, 1980), JASKOLLAs (1978) und SMOLKAs (1977) direkte Anwendung. Neben der Existenz zeitlich unterschiedlicher Beanspruchungssysteme durch die geomechanische Verformungsanalyse (ADLER 1981) wird auch die Beschreibung genetisch stark voneinander abweichender Teilgefüge möglich (ADLER 1982, BOCK 1980).
Als praktikable Ordnung für die Erklärung der tektonischen Vorgänge haben sich verschiedene "genetische" Gefügetypen zur Interpretation der Kluftsysteme herauskristallisiert. Teilweise abweichend von der Literatur (ADLER 1982, BOCK 1980,JASKOLLA 1978)

wurden die drei folgenden Systeme für die eigene Interpretation gewählt.

2.2.1. Fundamentales (BOCK 1980) oder primäres Gefüge (B-ss-System)

Dieses Kluftsystem ist in jedem Sedimentgestein entwickelt (DENNIS 1969, NICKELSEN & HOUGH 1967). Hauptklüfte sind nahezu normal aufeinander stehende Kluftscharen mit unterschiedlicher morphologischer Ausprägung,die ihrerseits senkrecht zur Schichtung stehen (BOCK 1976) und an denen keine Verschiebungen auftreten (ac- und bc-Flächen). In Abb. 2.1 ist dieses Gefügebild sehr gut dargestellt.
Folgender Ansatz der Hauptnormalspannung mit c $\perp$ ss ist möglich: $\sigma c > (\approx) \sigma a > \sigma b$.
Kleinstabschiebungen (0kl-Flächen) können untergeordnet entwikkelt sein ($\sigma a > \sigma c$), sind jedoch auf inkompetente Lagen (BOCK 1976) beschränkt. Nach BOCK (1980) sind diagenetische Prozesse ursächlich für die Ausbildung dieses Gefügesystems verantwortlich. Doch auch bei Erweiterung des Raumangebotes durch epirogenen Aufstieg können entsprechende Kluftkonfigurationen ausgebildet werden. Dies entspräche der Querdehnungssituation durch Heraushebung (ADLER 1982). Bei gleichen Verhältnissen der Hauptnormalspannungen beschreibt ADLER 0kl-Brüche, die als Großsprünge in Erscheinung treten.

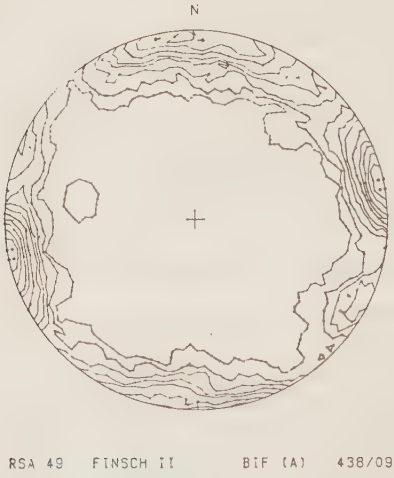


Abb. 2.1: Beispiel eines Fundamentalen Gefüges im Kluftdiagramm. (Finsch Diamond Mine).

2.2.2. Bruchsystem mit Scherung (ADLER 1981) (B-sh-System)

In faltungskompetenten Gesteinen, die im Arbeitsgebiet durch die große Karbonatplattform im Osten repräsentiert sind, und/oder bei hoher Intensität der beanspruchenden Kräfte (CLOOS 1963) ist ein Gefügesystem verwirklicht, das von BOCK (1980) als weiterentwickeltes degeneriertes fundamentales Kluftsystem beschrieben wird. Als Kräfteansatz muß gelten: $\sigma a > \sigma c > \sigma b$.
Durch Zunahme einer horizontal wirkenden Kraftkomponente (σa) werden vorwiegend ac-Trennbrüche und hk0-Scherklüfte ausgebildet. Je nach Verhältnis der Hauptnormalspannungen treten zusätzlich 0kl-Klüfte als Abschiebungen ($\sigma c \gg \sigma b$) bzw. h0l-Klüfte als Aufschiebungen ($\sigma a \gg \sigma c$) (ADLER 1981) auf.
Dieses System ist dem störungsbezogenen System (ADLER 1970, JASKOLLA 1978, SMOLKA 1977) sehr ähnlich. Dort liegt die B-Achse im Störungsstreichen, und die Spannungsansätze sind sehr unterschiedlich definiert: $\sigma c > \sigma b > \sigma a$ (ADLER 1981) und $\sigma b > \sigma a > \sigma c$ (JASKOLLA 1978).
Dieses störungsbezogene System läßt sich jedoch nach eigener Auffassung mit dem Spannungsansatz für das Bruchsystem mit σa in Richtung des Störungsstreichens erklären. Die hk0-Flächen des Störungsbegleitgefüges stellen damit syn- bzw. antithetische Scherflächen der hk0-Richtungen des Bruchsystems dar, für die natürlich ein theoretischer Spannungsansatz beschrieben werden kann.

2.2.3. Faltungsbezogenes Gefüges (B-F-System)

Als drittes Teilgefüge läßt sich das faltungsbezogene System beschreiben. Liegen faltungsinkompetente Gesteine vor, die in der Lage sind, horizontal gerichtete Kräfte fortzupflanzen, werden diese durch Auffaltung kompensiert, und bereits in frühem Stadium der Faltung wird ein Kluftsystem ausgebildet (JASKOLLA 1978). Der Spannungsansatz kann wie folgt beschrieben werden: $\sigma a > \sigma b > \sigma c$.
Deutlicher Ausdruck dieses Systems sind Faltenachsen mit der größten Hauptnormalspannung σa in Einengungsrichtung. Vorzugsweise sind ac-, ab- und hk0-Klüfte entwickelt.
Weiter können je nach ihrer strukturellen Position bc- und 0kl-Brüche (Faltenscheitel und -flanken) und h0l-Überschiebungen (Faltenmulde) (JASKOLLA 1978) auftreten.
Zeitliche und räumliche Intensität der wirkenden Kräfte beeinflussen maßgeblich die Kluftausbildung (ADLER 1981). So führt intensive Formung, die enge Faltung zur Folge hat, zu stärkerer tektonischer Deformation als normale Beanspruchung, die Ursache größter Faltenspannweiten ist.
Es soll hier noch darauf hingewiesen werden, daß häufig kontinuierliche Übergänge zwischen den verschiedenen Systemen auftreten (BOCK 1980), die ja durch zum Teil geringfügige Änderungen der Hauptnormalspannungen durchaus denkbar sind. Dies führt aber möglicherweise zur Beschreibung unterschiedlicher Teilgefüge bei gleichem Flächeninventar.
Die von JASKOLLA (1978) im b-ss-Gefüge, das mit dem fundamentalen

Kluftsystem gleichzusetzen ist, beschriebenen hk0-Scherflächen veranlassen ihn, einen Kräfteansatz σa > σc > σb anzunehmen, der im oben beschriebenen Bruchsystem mit Scherung verwirklicht ist. Die von JASKOLLA beobachteten Scherklüfte können somit entweder einer Zwischenform der beiden Teilgefügesysteme entstammen oder möglicherweise nur in bestimmten Bereichen des Sedimentationsbekkens entwickelt sein. Diese Position wäre im Beckenzentrum verwirklicht, wo es durch Schwereglеitung zur Faltung (BOCK 1980) kommen kann und damit zur Ausbildung von hk0- und auch h0l-Scherflächen.
Auch beim epirogenen Aufstieg, der von BOCK (1980) ebenfalls als Zeitpunkt zur Entstehung des primären Systems mit in die Überlegungen einbezogen wird, ist mit horizontal gerichteten Druckspannungen und der Anlage von hk0-Scherklüften zu rechnen.
Zum Verständnis der Interpretation werden hier noch einige Erklärungen gegeben.
Die Bezeichnungen der in dem Kluftgefüge möglichen Flächen richtet sich nach der von SANDER (1930) eingeführten Terminologie. Sie sind im Idealwürfel der Bruchdeformation nach ADLER et al. (1969) dargestellt, zusammen mit den Trennflächensymbolen (Abb. 2.2).
Hieraus geht auch hervor, daß die verschiedenen Achsen A, B und C als Gefügekoordinaten anzusehen sind, die aus den Symmetriebeziehungen der im Gefügediagramm abgebildeten Kluftflächen abgeleitet wurden.
Die B-Achse stellt keine aus Geländemessungen hervorgegangene oder aus Schichtflächendiagrammen konstruierte Faltenachse (β-Achse) dar. In allen Fällen war eine rhombische Symmetrie festzustellen, die durch die verschiedenen Symmetrieachsen indiziert ist.

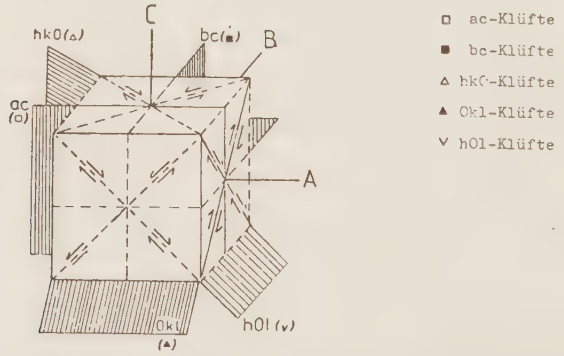


Abb. 2.2: Bruchwürfel der Deformation mit Indizierung der verschiedenen Trenn- und Scherflächen und deren Symbole nach ADLER et al. (1969). A, B, C = Gefügeachsen.

Lebenslauf:

Name:	Hans Leisen	
Geboren am:	7.12.1947	
Geburtsort:	Wertingen. Krs. Dillingen	
Eltern:	Johann und Johanna Leisen	
Familienstand:	verheiratet, zwei Kinder	
Schulbildung:	1954 - 1959	Volksschulen in Buttenwiesen, Krs. Dillingen und Maierhöfen, Krs. Lindau
	1959 - 1961	Realgymnasium Isny, Krs. Ravensburg
	1961 - 1968	Gymnasium Lindenberg, Krs. Lindau
	1968	Reifeprüfung
Wehrdienst:	1968 - 1970	in Füssen und Landsberg
Studium:	1970 - 1979	Studium der Geologie und Paläontologie an der Ludwigs-Maximilians-Universität München
	1979	Diplom in Geologie
	1980 - 1983	wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsprogramm "Photogeologie des Transvaalsystems/Südafrika" der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter Leitung von Prof. Dr. J. Bodechtel
	seit 1986	wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsprogramm "Erhaltung von Kulturdenkmälern aus Naturstein" des Bundesministeriums für Forschung und Technologie am Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege unter Leitung von Dr. R. Snethlage

GEOLOGISCHE KARTE